

和信息化部“十二五”规划教材
卓越工程师教育培养计划——装甲车辆工程专业系列教材

装甲车辆 构造与原理

李宏才 闫清东 编著 ●

MECHANICAL AND PRINCIPLE OF
ARMORED VEHICLES

坦克装甲车辆是陆军机械化部队的主要装备。第二次世界大战后几十年的数次局部战争,尤其是1991年的海湾战争、1998年的“沙漠之狐”联合行动以及2003年的伊拉克战争均表明:即使在现代高技术战争条件下,坦克装甲车辆特别是主战坦克,在地面战场上仍有不可取代的突击作用。坦克装甲车辆是一种涉及机械、电子、液压与液力、光学等多个技术领域的复杂武器系统。新技术、新成果一直不断地被应用到坦克装甲车辆上,使其作战性能不断提高。近30年来,我国在坦克装甲车辆的装备建设上也取得了长足的进步,相继推出了一系列性能先进的新型坦克装甲车辆。

为了适应形势发展的需要,满足坦克装甲车辆行业技术人员知识更新和培养专业人才的要求,结合现代教育教学及装甲车辆工程专业特点,作者凭借十余年坦克学从教经验和“坦克构造拆装实习”、“坦克驾驶实习”实践教学经历,编写了本书。本书在编写过程中,广泛收集新装甲装备的部件素材和科研成果,保证了教材内容的系统性、理论性和先进性。

本书分为坦克装甲车辆的总体构造、武器系统、推进系统、防护系统和电气与通信系统5篇,共15章。作为装甲车辆工程专业的教材,本书以履带式车辆为主,着重介绍了主战坦克、步兵战车及自行火炮等装甲车辆的发展概况、特点及总体构造;对武器及其火控系统的基本原理和防护系统做了较全面的介绍;坦克装甲车辆动力具体结构,因为有专门教材介绍,本书未做详细叙述;用大量篇幅对车辆的传动装置、传动操纵装置及行动部分进行了详尽的分析;通过一种典型坦克,介绍了坦克电气设备和通信系统;最后对最新发展起来的综合电子系统做了简单的介绍。对于轮式装甲车辆和履带车辆不同之处,在相关的章节中做了较详细的叙述。

本书在编写过程中,参考和引用了国内外专家、学者的著作,工程技术人员和研究生的论文,兄弟院校的有关教材和技术资料,以及互联网上的素材,在此对原作者深表感谢!

本书在编写过程中得到了各级领导的大力支持，并得到了北京理工大学教务处的大力帮助，在此一并表示感谢！

由于编者知识水平有限，本书在内容的编排、组织和侧重上难免有不尽如人意之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

第一篇 坦克装甲车辆的总体构造

第一章 概论	(003)
第一节 坦克的产生和发展	(004)
第二节 其他装甲车辆的发展	(011)
第三节 坦克装甲车辆的类型	(016)
第二章 总体构造与行驶基本原理	(019)
第一节 装甲车辆行驶基本原理	(019)
第二节 装甲车辆的系统组成	(022)
第三节 装甲车辆的一般构造	(029)

第二篇 坦克装甲车辆的武器系统

第三章 武器与弹药	(035)
第一节 坦克火炮	(035)
第二节 弹药	(061)
第三节 其他武器	(094)
第四章 自动装弹机	(099)
第五章 火控系统	(113)
第一节 火控系统	(113)
第二节 火控计算机与传感器	(121)
第三节 观测瞄分系统	(126)
第四节 炮控分系统	(151)

第三篇 坦克装甲车辆的推进系统

第六章 推进系统概述	(173)
第七章 动力装置	(179)
第一节 坦克发动机的发展	(179)

第二节 柴油发动机简介	(184)
第三节 燃气轮机简介	(215)
第八章 传动系统	(218)
第一节 传动概述	(218)
第二节 联轴器	(228)
第三节 主离合器	(230)
第四节 变速箱	(236)
第五节 转向装置	(277)
第六节 制动器	(295)
第七节 液力传动	(305)
第八节 液压传动	(314)
第九节 综合传动	(340)
第十节 传动系统操纵装置	(356)
第十一节 侧传动与轮边减速器	(394)
第九章 行动部分与水上推进装置	(398)
第一节 履带推进装置	(398)
第二节 轮式推进装置	(409)
第三节 悬挂装置	(412)
第四节 水上推进装置	(433)

第四篇 坦克装甲车辆的防护系统

第十章 防护材料与技术	(447)
第十一章 车体、炮塔与炮塔座圈	(468)
第十二章 其他防护装置和方法	(480)

第五篇 坦克装甲车辆的电气与通信系统

第十三章 电气设备与检测仪表	(503)
第一节 电源装置	(503)
第二节 耗电装置	(506)
第三节 辅助电气装置	(510)
第四节 检测仪表	(513)
第十四章 通信系统	(518)
第十五章 综合电子系统	(524)
参考文献	(535)

第一篇

坦克装甲车辆的总体构造

第一章

概 论

装甲车辆泛指各种军用履带式战斗和辅助车辆，以坦克为主要代表，通常也称为坦克装甲车辆，实际作战中也包括有武器无装甲的登陆车、火炮牵引车等。轮式装甲车辆也属于装甲车辆范畴。

坦克是一种具有强大直射火力、坚强装甲防护和高度机动性的履带式战斗车辆，是装甲车辆的典型代表，是装甲兵的基本装备。它是地面作战的重要突击武器。它集火力、防护力和机动力于一身，可以在各种复杂的地形和气候条件下，担负起消灭或压制敌方坦克、装甲车辆、反坦克及炮兵武器，摧毁敌方构筑的各种工事和障碍物，歼灭敌有生力量等多种作战任务。坦克在战场上，尤其是在第二次世界大战的战场上出尽了风头。在第二次世界大战以后的多次战争中，坦克同样也是陆战的主角，被称为“陆战之王”。

坦克是英语“Tank”的音译（Tank 原义是水箱），它是坦克首次参战前为保密而取的代号，被世界各国沿用至今。

20 世纪后期，高技术异军突起，武装直升机、各种反坦克导弹等反坦克武器成为坦克的克星，卫星定位、精确制导、遥控作战使得坦克越来越难以发挥作用；世界格局也悄然变化，大规模战争的可能性也大大降低，局部冲突却有越演越烈的趋势，对于坦克在未来战争中的作用，也存在着各种声音。但是，性能先进的飞机和精确制导的导弹都不能完全取代坦克进攻、输送与掩护兵员夺取阵地和抢滩的功能。另外，在核战争情况下，坦克自身重量对核爆炸破坏效应具有显著的衰减作用。因此，从火力、综合机动性、防御生存能力这几项指标来评价，坦克的综合水平都是其他类型的装甲战斗车辆无法比拟的。随着美国、英国和德国等国家提出以高技术为依托的新的研制计划，关于坦克的疑虑一扫而光。许多国家正依据各自的作战思想，积极地利用现代科学技术的最新成就，发展 21 世纪初使用的新型主战坦克。坦克的总体结构可能有突破性的变化，如出现外置火炮式、无人炮塔式等布置形式。火炮口径有进一步增大趋势，火控系统将更加先进、完善；动力传动装置的功率密度将进一步提高；各种主动与被动防护技术、光电对抗技术及战场信息自动管理技术，将逐步在坦克上推广应用。各国在坦克研制过程中，十分重视减小坦克质量、减小形体尺寸和控制费用增长。可以预料，新型主战坦克的摧毁力、生存力和适应性将有较大幅度的提高，这也是坦克未来的发展方向。

第一节 坦克的产生和发展

一、产生

1855 年,英国人 J·科恩在蒸汽拖拉机的底盘上安装机枪和装甲,制成了一辆轮式装甲车,并获得专利权。1899 年,英国人西姆斯在四轮汽车上安装了装甲和一挺机枪。次年,英国把装甲汽车投入正在南非进行的英-布战争中。

20 世纪初,已于 19 世纪中叶完成工业革命的英国、法国、德国、美国 and 俄国等国家,先后利用本国钢铁制造业和汽车工业的优越实力,制造出了世界上最早的装甲车。

1914 年 8 月 2 日,第一次世界大战爆发,为支援空军在法国的作战行动,英国组建了世界上第一个装甲车师。当时,各国利用普通卡车底盘改装的装甲车,主要用于执行侦察和袭击作战任务,而地面战场上纵横密布的战壕却成了它们无法逾越的障碍。10 月,战争进入僵持阶段,欧洲战场陷入了僵局。当时,在执行后勤补给任务的队伍里出现了拖拉机,它主要用来牵引一些诸如大型火炮之类的重型装备。当时一些早期的拖拉机还采用履带代替轮胎。早在 1912 年,一位澳大利亚工程师,同时也是专业发明家的劳塞罗特·得·摩尔先生向英国战争部递交了一份装甲车辆的设计图纸,却被英国官僚们视为无稽之谈。第一次世界大战爆发后,英国人 E·D·斯文顿(又译作特里顿)在一次意外中发现,如果在拖拉机上装上火炮或机枪,它不就无敌了吗?当时正在英国远征部队服役的斯文顿中校提出,需要制造一种能够在遍布铁丝网的战场上开辟道路、翻越壕沟并能摧毁和压制机枪火力的装甲车来打破西部前线的这种沉闷僵局。但是,如出一辙的是,当时的英国陆军对斯文顿中校的建议毫无兴趣,时任海军大臣的丘吉尔却如获至宝,下令组建“陆地战舰委员会”,亲自领导“陆地战舰”的研制工作。1915 年 2 月,英国政府采纳了 E·D·斯文顿的建议,利用汽车、拖拉机、枪炮制造和冶金技术,于 1915 年 9 月制成样车,进行了首次试验并获得了成功。样车被称为“小游民”,这就是世界上第一辆坦克,如图 1-1-1 所示。因此,坦克的产生离不开 19 世纪末和 20 世纪初的内燃机、火炮、防护装甲和履带推进装置技术的发展,以及第一次世界大战的推动。



图 1-1-1 “小游民”坦克

“小游民”全重 18.289 t,装甲厚度为 6 mm,配有 1 挺 7.7 mm “马克沁”机枪和几挺 7.7 mm “刘易斯”机枪,发动机功率 77.175 kW,最大速度 3.2 km/h,越壕 1.2 m,能通过 0.3 m 高的障碍物。

1916 年生产的“马克”I 型坦克,外廓呈菱形,刚性悬挂,车体两侧履带架上有突出的炮座,两条履带从顶上绕过车体,车后伸出一对转向轮。该坦克乘员 8 人,且该坦克有“雄性”和“雌性”两种。“雄性”装有两门 57 mm 火炮和 4 挺机枪,“雌性”仅装 5 挺机枪。1916 年 9 月 15

日,有48辆“马克”Ⅰ型坦克首次投入索姆河战役,但由于各种原因只有18辆投入了战斗。这种称为“马克”Ⅰ型的坦克靠履带行走,能驰骋疆场、越障跨壕,由于不怕枪弹,无所阻挡,很快就突破德军防线,从此开辟了陆军机械化的新时代。同时,丘吉尔为了不让德国人察觉这样新式武器,于是便以“水箱(tank)”这一海军术语为其命名,结果这一名称沿用至今。

1918年,法国研制了雷诺 FT-17 坦克,其也在第一次世界大战中立下战功。

二、发展

(一) 世界坦克的发展

坦克常以“代”来分类,但是却从未有过明确的定义。苏联与俄罗斯军方将主战坦克以“代”进行划分起于1920年,1920—1945年推出的为第一代,1946—1960年的为第二代,1961—1980年的为第三代,1981年至今的为第四代。而加拿大陆战战略学院将主战坦克分作三代:第一代第二次世界大战战后的主战坦克,包括美国的 M48 与 M60、德国的豹Ⅰ型和英国的“百夫长”与“酋长”式;第二代则包括了大部分采用120 mm主炮的主战坦克,如美国的 M1A1、德国的“豹Ⅱ”和英国的“挑战者”;至于第三代主战坦克,则包括了采用最新数位科技的坦克,如法国的“勒克莱尔”,以及美国的 M1A2 与德国的“豹2A5”。我国军方根据生产年代和技术水平,也认为坦克仅分作三代。

1. 第一次世界大战期间

在第一次世界大战期间英、法、德等国共生产了近万辆坦克。期间,典型的有英国的Ⅳ型坦克和Ⅴ型坦克,法国的“施奈德”、“圣沙蒙”、“雷诺 FT-17”,德国的 A7V 坦克等。战争后期,“雷诺 FT-17”第一次安装有旋转炮塔和弹性悬挂装置,具备了现代坦克的雏形。它是当时生产最多的坦克(3 000多辆),对后来的坦克设计起到了非常重要的影响,为各国所效仿。

当时,坦克的作战用途是攻破堑壕、铁丝网等障碍物,消灭敌人的有生力量和机枪火力。它的结构形式多种多样,有固定的顶置炮塔或侧置炮座,也有旋转式炮塔或无炮塔结构,它装有短身管、低初速火炮和数挺机枪,或仅装机枪。坦克转向,有的靠离合器和制动器系统;有的靠与两条履带分别联动的辅助变速箱或电动机;有的由两套发动机变速箱组分别驱动两条履带,靠变换两履带速比转向。坦克战斗全重7~28 t,单位功率2.6~4.8 kW/t,火炮口径37~75 mm,最大行程35~64 km,装甲厚度5~30 mm。行驶速度慢、机械故障率高和乘员的工作条件差是早期坦克的主要特点。

2. 两次世界大战期间

两次世界大战期间是坦克技术和战术处于探索和发展的时期。各个工业技术强国相继研制了轻型、超轻型、水陆两栖及多炮塔的中、重型等型式的坦克,甚至还出现了履带和车轮互换行驶的轮-履轻型坦克。这个时期的代表坦克有:英国的“马蒂尔达”坦克、“十字军”坦克,法国的“雷诺 R-35”轻型和“索玛 S-35”中型坦克,德国的 T-Ⅱ轻型和 T-Ⅳ中型坦克,苏联的 T-28 等中型坦克。此时期坦克总体性能为:战斗全重9~28 t,单位功率5.1~13.2 kW/t,最大速度20~48 km/h,火炮口径37~76 mm,行程储备100~350 km。

这个时期的坦克开始装备光学观瞄仪器和火炮高低向稳定器,炮塔驱动采用电力或液力装置,安装滑动齿轮方式变速的定轴式变速箱,采用单差速器或转向离合器转向机构、平衡

式悬挂装置。法国还在其坦克上使用了双功率转向机构。反坦克炮出现后，为增强坦克的防护，开始设计了倾斜布置的装甲。

3. 第二次世界大战期间

1939年9月，德国强大的装甲部队横扫了整个波兰，揭开了装甲战历史的新篇章。随着德军在入侵作战中多次使用坦克集群进行大规模、大纵深的“闪电战”，世界上的战争专家们惊呼：“新的‘陆战之王’已经诞生！”期间，交战的两大国家集团共生产了约30万辆坦克和自行火炮。大战中期、后期，在苏、德战场上曾多次出现有数千辆坦克参加的大会战；在北非战场、诺曼底战役及远东战役中，也有大量坦克参战。与坦克作战，已成为坦克的首要任务。这个时期的代表坦克有：苏联的T-34中型坦克、NC-2重型坦克，德国的T-V（豹式）中型坦克（1-6）、T-VI（虎式）重型坦克，英国的“克伦威尔”巡洋坦克、“丘吉尔”步兵坦克，美国的M4A3中型坦克，日本的97式中型坦克。其中，最著名的是苏联的T-34中型坦克和德国的T-V（豹式）中型坦克。T-34系列中型坦克是第二次世界大战中生产数量最多、服役时间最长的坦克。无论是火力配置、装甲防护还是机动性方面，德国的T-V（豹式）中型坦克都可以称为第二次世界大战期间世界上最好的坦克。美国在第二次世界大战期间生产坦克最多，但是，其性能略逊于德国坦克，比较有代表性的是M4A3中型坦克。而法国在第二次世界大战初期沦陷，并没有性能优良的坦克出现。

第二次世界大战时期，坦克总体性能为战斗全重27~55 t、动力为350~700马力^①的汽油机。苏联则广泛使用高速柴油机，单位功率6.4~15 kW/t，最大速度25~64 km/h，火炮口径最大到122 mm，最大行程100~300 km。

第二次世界大战是坦克技术迅速发展、性能全面提高的时期。由于坦克在战场上被广泛使用，与坦克、装甲车辆的作战已经成为坦克的首要任务。坦克与反坦克武器之间的激烈对抗，促进了坦克技术的提高，使其结构形式趋于成熟，确立了坦克以后的发展方向。这个时期的坦克结构和技术特征为：普遍装备了昼用光学观瞄仪器、火炮高低向稳定器，双功率流传动及扭杆式独立悬挂装置已经出现；火炮的单一旋转炮塔和单一履带推进装置被广泛采用，从而确立了现代坦克的总体结构形式；坦克火力显著提高，中型坦克火炮口径为75~85 mm，重型坦克口径为122 mm，并出现了次口径穿甲弹和空心装药破甲弹；防护能力也显著提高，车体前装甲厚度45~152 mm，炮塔最厚处达180 mm，装甲倾角增大，焊接车体和铸造炮塔取代了铆接结构，改善了坦克外形。

4. 第二次世界大战后至20世纪50年代（第一代坦克）

第二次世界大战后，世界形成东、西方两大阵营。持续的“冷战”促进武器技术的进步。美、苏、英、法等国利用第二次世界大战经验研制了新一代坦克，其中代表坦克有：苏联T-54中型坦克、T-10重型坦克，美国M48中型坦克，英国“百人队长”中型坦克，法国AMX-13轻型坦克。这个时期的坦克总体性能为：战斗全重36~65 t，动力382~596 kW，单位功率9~13 kW/t，最大速度34~50 km/h，火炮口径为中型90~105 mm、重型120~122 mm，最大行程100~500 km。

结构和技术特征为：火炮采用双向稳定器、红外夜视仪、合像式或体式光学测距仪、机械式弹道计算机，配备旋转稳定超速脱壳装甲弹、破甲弹和碎甲弹；法国AMX-13坦克

^① 1 马力=0.735 kW。

上还首次采用了结构新颖的摇摆式炮塔,首次安装了自动装弹机,而且还在炮塔上加装了反坦克导弹发射机;车体前装甲厚度 76~127 mm,倾角为 55°~60°,铸造炮塔最厚处达 2 000 mm,防穿甲弹和破甲弹的能力在 200 mm 左右;由于核武器、化学武器、生物武器的出现,坦克开始安装三防装置、自动灭火装置和潜渡装置,但是性能不够理想。这个时期属于坦克发展的第一代。

这个时期的坦克按照战斗全重和火炮口径分为轻型、中型、重型坦克。轻型坦克重 10~20 t,火炮口径为 75 或 76 mm,发动机功率 176~368 kW。仅在战争的初期有所发展,主要作为应急装备和在特种战斗条件下使用;中型坦克重 20~40 t,火炮口径最大为 105 mm,用于遂行装甲兵的主要作战任务;重型坦克重 40~60 t,火炮口径最大为 125 mm,主要用于支援中型坦克战斗。

5. 60 年代至 70 年代中期 (第二代坦克)

60 年代出现的一批战斗坦克,火力和综合防护能力达到或超过以往重型坦克的水平,同时克服了重型坦克机动性能差的弱点,从而停止了传统意义的重型坦克的发展,形成一种具有现代特征的战斗坦克,即主战坦克,从而使坦克的发展步入一个崭新的时期。这个时期的代表坦克有:美国 M60A1、A2、A3 坦克,英国“酋长”坦克,苏联 T-62 坦克,法国 AMX-30 坦克,德国“豹 I” A1、A2、A3、A4 坦克,瑞典“S”坦克及以色列的“梅卡瓦-1”坦克等。其总体性能为:战斗全重 36~54 t,发动机功率为 427~610 kW,单位功率 9~15.4 kW/t,最大速度 48~65 km/h,火炮口径 105~120 mm。

这个时期称为坦克发展的第二代,坦克动力来自柴油机或多燃料发动机,传动普遍采用双功率流传动装置,悬架采用扭杆式独立悬架装置。瑞典“S”坦克动力采用的是柴油机和燃气轮机的组合装置,并利用液气式悬挂装置来调节车辆的高度和火炮俯仰角。坦克普遍采用火炮双向稳定器、光学测距仪、红外夜视观瞄仪器、脱壳装甲弹、破甲弹、碎甲弹等。坦克上出现了激光测距仪和机电式弹道计算机。瑞典的“S”坦克采用了自动装弹机和自动抛壳机。苏联 T-62 坦克首次安装了滑膛炮。这一代坦克装甲为均质装甲,防穿甲弹和破甲弹的能力提高到 300 mm 和 500 mm。通过降低车高,这时期坦克改善了防弹外形。值得一提的是,瑞典的“S”坦克放弃了传统的炮塔,火炮与车体刚性固定,进一步降低车高,提高防护性能。这时期的坦克普遍装备三防装置,但是防二次效应的能力较差,不能够防中子弹爆炸时产生的快中子流和原子弹爆炸时产生的电磁脉冲。

6. 70 年代至今 (第三代坦克)

70 年代以来,得益于电子计算机技术、制造工艺技术、自动控制、现代光学等领域的飞速发展,坦克总体性能有了显著的提高,坦克发展进入了新一代——第三代。90 年代以来,世界各主要坦克研制国家放慢了对第四代坦克的研制,在第三代坦克上试用新技术、开展技术攻关和技术储备,使现役主战坦克的战术技术性能相比 70 年代有了很大的提高。第三代坦克的代表有:美国 M1A2、德国“豹 2A6”、日本 90 式、英国“挑战者 2”、法国“勒克莱尔”、俄罗斯 T-90、以色列“梅卡瓦 MK4”等。第三代坦克总体性能为:战斗全重 43~62 t,动力装置功率为 662~1 103 kW,单位功率 14.2~20.8 kW/t,最大速度 46~75 km/t,最大平均越野速度 48.3~55 km/h,火炮为 105~125 mm 口径线膛炮或滑膛炮,最大行程 300~550 km。

第三代坦克动力多采用废气涡轮增压多燃料发动机,有的采用进气中冷和电子控制技

术,美国 M1M2 坦克采用燃气轮机;传动装置多采用电液操纵、静液转向、双功率流的液力机械综合传动装置;转向机构则有静液无级双流差速式、液力液压复合双流差速式、静液机械复合差速式、离合器与制动器转向等多种机构,其中的几种坦克均可以实现中心转向;悬挂为扭杆式、液气或者二者的结合方式;炮塔驱动方式为全电动、电液再加手驱动。

武器系统上,第三代坦克多采用 120~125 mm 口径的滑膛炮,有的坦克装备有自动装弹机,弹种有尾翼稳定的长杆式托壳穿甲弹和多用途弹,俄罗斯的 T-90 坦克还可以发射导弹。第三代坦克普遍装备了以电子计算机为中心的火控系统,提高了射击精度,如指挥仪火控系统使射击反应时间缩短到 6~12 s,首发命中率提高到 65%~90%,并可以在行进间对运动目标进行射击。

防护系统上,第三代坦克普遍在车体和炮塔前部挂装复合装甲或反应装甲,如英国的“乔巴姆”装甲、美国的贫铀装甲等,有效地提高了抗弹能力,特别是防破甲弹穿透能力;其车体两侧装有屏蔽装甲或主动防护系统。多数第三代坦克装备了导航系统、敌我识别系统、夜战系统。为减小核、化学、生物武器的杀伤破坏,第三代坦克车内安装有三防装置,有的在乘员室的装甲内表面附设有削减中子流贯穿的防护衬层。为扑灭车内火灾和防止破甲弹穿透装甲后引起车内油气混合气爆炸,第三代坦克车内多装有自动灭火抑爆装置。此外,第三代坦克还配有烟幕装置及其他伪装器材和光电对抗设备,使坦克的综合防护能力显著提高。

在 2015 年俄罗斯胜利日阅兵上展出的俄罗斯新型坦克“阿玛塔”主战坦克(图 1-1-2),是目前最新型主战坦克。



图 1-1-2 俄罗斯“阿玛塔”主战坦克

“阿玛塔”主战坦克是俄罗斯陆军研发的新一代重型装甲平台,它基于 640 工程的“黑鹰”坦克底盘设计,通过搭载不同的系统,可以衍生为坦克、自行火炮、工程车辆、防空平台、重型步兵装甲战车等军事武器。

“阿玛塔”主战坦克采用的 X-12 系列 A-85-3A 引擎为多燃料的四冲程双涡轮增压,额定输出 1 500 马力(2 000 r/min)。

“阿玛塔”主战坦克配备一个遥控无人炮塔,炮塔配备全新的 125 mm 2A82-1M 式滑膛炮,同时还配备一个 30 mm 次口径火炮,主要用于打击低空飞行目标,如攻击机和直升机。

炮塔配备的 12.7 mm 重型机枪据称能够打击来袭的炮弹，如反坦克导弹，也能打击速度接近 3 000 m/s 的炮弹破片。

坦克乘员位于安全封闭的多层装甲舱中，与弹药舱隔开。此种坦克实现了完全计算机化，只需要两名操作人员，并且每名操作人员都可以部署坦克的武器系统。据报道，坦克的瞄准是通过一个有源相控阵天线和大量的多种传感器完成。

（二）国产坦克的发展

我国在第二次世界大战中没有生产出自己制造的坦克。始建于解放战争时期的装甲部队使用的基本上是缴获的日式、美式坦克和换装的苏制坦克。在 1958 年，我国建成了第一坦克制造厂。在苏联的支援下，我国借鉴苏联的 T-54A 坦克，于 1959 年生产出 32 辆中型坦克，并按照装备部队年代命名为 59 式。59 式坦克全重 36 t，最大公路速度 50 km/h，最大公路行程 440 km，乘员 4 人，在半圆形的铸造炮塔上装有一门 100 mm 线膛炮，两挺 7.62 mm 并列机枪，1 挺 12.7 mm 高射机枪。初期的坦克型号结构简单，没有火炮稳定装置或者红外夜视设备，此后又先后生产了改进的 59-I、59-II、59-IIA 等几种车型。在 50—60 年代，59 式坦克是一种性能较好的坦克，在中国的产量近万，成为中国军队当时的主战坦克。时至今日，59 式坦克仍然是中国军队装备量最大的坦克。

60—70 年代初，我国利用 59 式的技术生产了适合水网稻田地带作战的 62 式轻型坦克，这是一种缩小的 59 式坦克。由于其接地压力更低，更适合高低不平而且松软的地形，主要用于南方丘陵山地的装甲师团遂行侦察、迂回、同敌方轻型装甲车辆作战等主要任务，具有良好的机动性能、一定的火力和防护能力。62 式坦克战斗全重 21 t，发动机 321 kW，武器是 1 门 85 mm 线膛炮。62 式坦克是中国第一款自主生产的坦克。

1958 年，中国参考苏联 PT-76 的技术开始研制水陆坦克，这款坦克于 1963 年 3 月设计定型，被命名为 63 式水陆坦克并投入批量生产。63 式水陆坦克是中国自行研制的第一代水陆坦克，该坦克具有较好的机动性能，特别是两栖性能和适当的装甲防护能力，主要用于强渡江河和沿海地登陆与反登陆作战，适宜在多河流、湖泊、沼泽和水稻田等水网地区执行战斗和侦察任务。该坦克水上推进装置采用轴流式喷水推进器，在传动装置两侧各装有一套喷水推进器和水道，在车尾喷水口处设有可以控制开闭的水门。为实现水上倒车，坦克车体后部两侧开有倒车水道，关闭车尾两个水门，水从车后两侧喷水口向车的斜前方喷出，从而产生向后的推力，即可在短时间内实现减速、制动或倒驶；当关闭一侧水门时，即可实现灵活转向。喷水推进器可由分动箱操纵使之正转和反转，正转使坦克在水上行驶，反转时使水道中的水倒喷，以此来除掉水道进口格栅上的水草与杂物，防止堵塞。针对部队在使用中所暴露的问题，该款坦克于 1979—1980 年进行了较大改进，并被命名为 63A 水陆坦克。63A 水陆坦克战斗全重 20 t，发动机陆上功率 294 kW，水上功率 382 kW，最大航速大于 14 km/h，最大航程大于 90 km。火炮口径从 85 mm 提高到 105 mm。

真正促进中国坦克发展的是 1969 年的珍宝岛之战。珍宝岛之战证明，当时中国军队装备的主要反坦克武器，如 85 mm 加农炮和 56 式火箭筒都无法有效地击穿 T-62 的正面装甲，由此促进了中国坦克和反坦克技术的大发展，这也是 69 式坦克的诞生背景。1974 年，69 式坦克研制成功并装备部队。69 式坦克是 59 式坦克的一种改进型，主要的改进是采用了 100 mm 滑膛炮、功率从 520 马力提高到 580 马力的强化发动机、主动红外夜视、双向稳定器和自动装表式火控系统。采用滑膛炮的目的是发射长杆式脱壳穿甲弹。69 式坦克是中国

自主研发的第一种主战坦克，中国装备了大约 1 000 辆。69 式坦克的研制提高了中国的坦克研制水平，同时培养了一批坦克研制人才，这对中国坦克的进一步发展有着重要的意义。到 80 年代，由于线膛炮发射的脱壳穿甲弹研制成功，69 式坦克又改回 100 mm 线膛炮，并且改进了火控系统，被称为 69 II 式。采用英国式的 105 mm 线膛炮并使用英国马可尼公司火控技术的进一步改进型被称作 69 III 式或 79 式，该款坦克参加了 1984 年的天安门阅兵。79 式坦克的研制成功，使中国的坦克技术前进了一大步，为后续更先进的主战坦克的研制打下了良好基础。这是中国坦克发展的第一代。

70 年代末 80 年代初，中国开始了“二代坦克”的研制，这就是广为人知的 80 系列坦克。80 式坦克通过涡轮增压技术将 12 150 L 柴油机功率提高到 730 马力，采用了 6 对小直径负重轮和改进的扭杆悬挂装置，以及 105 mm 线膛炮和光点投射式火控，其火力、机动、防护性能比第一代坦克有了大幅度提高。80 式坦克是中国第二代主战坦克的基型车，其后研制了一系列新的车型，如 80-I、80-II、85-I、85-II、85-II A、85-II M、88B、88C 主战坦克等，使 80 式主战坦克成为一个车族。其中，88C 型坦克（正式定型后称为 96 式）是 80 系列的典型代表。

88C 型坦克是中国坦克发展的一次飞跃，其主要性能有：在推进系统上，采用 V 形水冷废气涡轮增压柴油机，额定功率为 536 kW，战斗全重约 41.5 t，单位功率 13 kW/t。坦克的最高时速为 57 km，时速 32 km 的加速时间为 14 s，最大行程为 400 km。武器系统上，88C 型主战坦克的火炮是一门 125 mm 滑膛炮，其配备的弹种包括第三代新型钨合金尾翼稳定脱壳穿甲弹、尾翼破甲弹和多用途杀伤榴弹；其药筒均为半可燃式，采用分装式定角自动装填，弹药基数为 41 发。在火控系统上，88C 型主战坦克采用的是下反稳像式火控系统，属指挥仪型数字式坦克火控系统，同时具有稳像式火控和自动装表简易火控两种工作状态，使坦克在昼夜均具有行进间射击运动目标的能力。88C 型主战坦克装有一部机电一体化控制的性能可靠的自动装弹机。在防护性能上，模块装甲与外挂装甲相结合，使该型坦克质量虽小，却具有较强的防护能力。88C 型车体由国产新型装甲钢板焊接而成，车体首上甲板采用新型复合装甲，车体两侧挂有 8 mm 可拆卸式多层夹布橡胶屏蔽裙板，能有效地防止破甲弹击穿车体侧装甲。炮塔为模块式焊接结构。量产型的 88C 型主战坦克的炮塔上还安装有 JD-3 型车载红外干扰机，可有效地干扰并压制敌方的红外半主动制导反坦克导弹，使 88C 型坦克初具光电对抗能力。

80 式坦克研制成功的时候，德国“豹 II”，美国的 M1，苏联的 T-64、T-72 和 T-80 等坦克已经装备了 120~125 mm 滑膛炮、复合装甲、大马力柴油机或燃气轮机、稳像式火控系统，坦克的火力、机动和防护有了空前的提高。在此背景下，80 年代末 90 年代初，中国开展了“三代坦克”的研制。1998 年年底，第三代坦克通过了鉴定定型，被正式命名为 ZTZ-98 式主力坦克。1999 年 10 月 1 日，98 式坦克在国庆阅兵式上正式对外公开。98 式坦克经过改进后，命名为 ZTZ-99 式。

中国 ZTZ-99 式主战坦克战斗全重 50 t，动力 1 500 马力，最大速度达 65 km/h，最大行程 450 km，最大爬坡度为 32°。武器系统上，该款坦克装有 1 门 125 mm 滑膛炮，火力较强，直射距离达 2 300 m。ZTZ-99 式主战坦克一般携带 3 种弹药，即尾翼稳定脱壳穿甲弹、破甲弹和榴弹，其中尾翼稳定脱壳穿甲弹的炮口初速达到 1 720 m/s。火控系统上，ZTZ-99 式主战坦克装备了先进的自动跟踪火控系统和瞄导合一的大死循环式火控系统。瞄导合一死循环火控系统是一种可对射击结果实施自动校正的火控系统，如果首发射击不中，该系统能对

脱靶情况进行实时测量,把偏差的距离和角速度自动输入火控计算机,在进行下一发弹的修正计算后立即射击,从而大大提高了次发命中率。ZTZ-99 式主战坦克配备了车长、炮长热像仪,在昼间对坦克目标的识别距离为 2 600 m,夜间为 2 750 m。带稳定装置的置顶车长夜视仪使火控系统具备猎-歼能力,炮手可以直接攻击车长锁定并追踪的目标。该款坦克同时装备有自动装弹机。防护系统上,该款坦克的外形低矮(不到 2.3 m),车首和炮塔正面采用可更换式新型复合装甲;车体两侧安装有 8 mm 厚夹布橡胶履带裙板,前护板和侧裙板对带倾斜引信的反坦克地雷和破甲弹有一定的防护作用。为保证驾驶员的安全,该款坦克座椅悬吊在车体上,底部加强了防护装甲。该款坦克还安装了反导软防护系统,并首次配备了置顶激光眩目压制干扰装置,可以干扰和破坏敌方的观瞄器材。坦克还可以安装新型主动式防御系统。坦克的内部安装有集体三防装置和自动灭火抑爆系统,战斗舱、驾驶舱及其舱盖的内壁加装有一层防辐射衬层,可降低 γ 射线对乘员的伤害。此外,该坦克在被穿甲弹击中时,还可以防止乘员受到从内部崩落的碎片的伤害。

99A 型主战坦克是中国首款“信息化坦克”,它实现了战场态势共享、协同攻防、状态监测、系统重构等功能,使坦克演变为战场重要的信息节点,实现战车之间的相互协同及单车乘员彼此间的信息共享。该坦克配备强劲的 1 500 马力发动机、125 mm 主炮,其车体周围加装先进的复合装甲、爆炸反应装甲,其顶部披上新型复合装甲,能全方位抵挡来自敌方坦克、反坦克导弹及武装直升机的火力打击。2015 年 9 月 3 日,99A 型主战坦克在抗战胜利 70 周年阅兵式中出场,是 27 个地面装备方队中最先出场的重头装备(图 1-1-3)。



图 1-1-3 中国最新主战坦克 99A

第二节 其他装甲车辆的发展

除坦克外,其他典型的装甲车辆还有装甲人员输送车、步兵战车、自行火炮、保障车辆等。

一、装甲人员输送车

装甲输送车是指具有高度机动性、一定防护力和火力的装甲战斗输送车辆,主要用于在战场上输送人员,也可伴随坦克的作战行动而输送物资器材,还可用车上武器和车载步兵的

武器进行战斗。装甲输送车通常具备水陆两用性能。

第一次世界大战末期,英国首先研制了履带式和轮式装甲输送车。于1916年秋天设计的马克-IX坦克被认为是第一辆装甲人员输送车。马克-IX坦克设计的目的是满足运输成排步兵、物资和机枪手穿越无人区的需要。该坦克的内部容积达到 152 cm^3 。1919年,该坦克达到防水要求。该坦克装备有两个巨大的浮筒,履带连接了铰接叶轮,其下水证明了两栖装甲车的可行性。由于当时的坦克性能差、数量少,步坦协同的矛盾还不突出,因此装甲输送车没有得到进一步的发展。第一次世界大战后,美国和德国研制了半履带式装甲人员输送车,美国的M3半履带车与德国SdKfz 251半履带车是最著名的代表,其他国家的步兵运输还是依靠卡车。此外,这一时期的步坦协同矛盾并没有真正解决。

第二次世界大战初期,德国装甲师的步兵装备了装甲人员输送车,英、美、加拿大和日本等国军队也相继装备,其中典型代表有:德国的SdKfz 250、英国的“袋鼠”、美国的M44等。当时的装甲人员输送车顶部大多为敞开式或半敞开式。装甲人员输送车的出现,显著地提高了步兵的机动能力。第二次世界大战中,与德国和西方盟国不同,苏联忽略了装甲输送车的发展,然而,苏联很快意识到并开始扭转这种局面,并于战争结束前开始研制以GAZ-63(4X4)轻型卡车为基础的装甲人员输送车BTR-40。

第二次世界大战后,装甲人员输送车得到迅速发展,许多国家把装备这种车的数量作为衡量陆军机械化程度的标志之一。20世纪50年代各国装备了多种装甲人员输送车,典型代表有:苏联的BTP-152轮式和BTP-50履带式装甲输送车,德国的HS-30履带式装甲输送车,法国的AMX-VC1履带式装甲输送车,英国的FV-603轮式装甲输送车。

60年代后,世界各国提高了装甲人员输送车的武器配置,增设小型单人炮塔或指挥塔,并安装小口径机关炮,采用全自动传动装置和性能良好的悬挂装置。为适应现代核武器条件下的作战,世界各国又将车体改为全封闭式结构,以增加车辆的整体防护性能和三防能力,这个时期的典型代表有英国的FV-432履带式装甲人员输送车、德国的HWK11型装甲人员输送车、苏联的BTP-60轮式装甲人员输送车、美国的M113履带式装甲人员输送车。M113型装甲人员输送车是两栖车型,在水下通过履带划水,每小时可以行进5 km。M113型装甲人员输送车是美国在越南战争的见证,它经历了越南战争中从美国出兵之前一直到美国军队撤离的全部过程。在越南战争中,骑兵部队放弃了他们的坦克,转而使用M113型装甲人员输送车投入战斗。随着战斗的深入和战事的发展,M113型装甲人员输送车配备的武器火力更加猛烈。M113履带式装甲人员输送车是历史上应用最广泛的装甲人员输送车,服役于48个国家和地区。美国本土以外的最大买家是以色列,共购买了6 000多辆;其次是意大利,购买3 000多辆。直到40年后,该车还在生产,连带改进型,M113型装甲人员输送车总共生产了80 000多辆。

70年代以来,为加速步兵机械化建设,许多国家还着重发展了轮式装甲人员输送车。轮式装甲车辆具有公路行驶速度快、耗油少、使用寿命长、成本低等优点,提高了它同履带式装甲车辆的竞争能力;日益发展的汽车工业为轮式装甲车辆发展奠定了坚实基础;各国公路网的发展与建设又为轮式装甲车辆的使用创造了有利条件。这时期的轮式装甲人员输送车的典型代表有英国的“风暴”装甲人员输送车,法国的潘哈德M3装甲人员输送车、雷诺VAR装甲人员输送车,德国的TPZ1“山猫”装甲人员输送车,苏联的BTR-70/80/90装甲人员输送车等,同时期典型的履带式装甲人员输送车有美国的M113A1、M113A2、M113A3装甲人员输送车,瑞典的Pbv302装甲人员输送车,德国的TH-495装甲人员输送车等。水陆两栖的潘哈德M3基

本型是一款4×4轮式装甲人员输送车,用于军事或准军事用途销往很多国家。

中国于1958年开始研制代号为A531的履带式装甲人员输送车,于1963年装备部队,命名为63式。多年来,中国在A531车的基础上不断改进,发展了63-1式(B531)、63C式(531C,外贸)、85式(531H)履带式装甲输送车。85式履带式装甲输送车是一个很成功的车型,它的各种变形车很多,出口的数量和国家很多,并且形成了85式履带装甲车族。其后,中国又研制了89式(534,二代输送车)和90式(535)履带装甲输送车。

80年代以前,中国几乎没有装备轮式装甲车;80年代以后,中国轮式装甲车辆开始起步,并且迅速发展壮大。首款轮式装甲输送车——90式轮式装甲输送车是一种性能优异的基型装甲车,于1984年首次亮相,该车安装了25mm机关炮,使用了超压式半自动集体三防系统。在90式轮式装甲车的基础上,中国研制了92式轮式装甲车(WZ551)。92式轮式装甲输送车战斗全重15.3t,发动机功率191kW,武器是一门25mm机关炮,最高速度85km/h,最大行程600km,乘员3人,载员9人。WZ551现在已经初步形成一个车族。

轮式和履带式装甲人员输送车适应不同的战场环境,各有优缺点,轮式装甲输送车成本低,适应公路网发达的地区;履带式装甲输送车越野性能好,更适合丘陵、水网密布的地区。

轮式和履带式装甲人员输送车的技术发展趋势:一是采用民用柴涡轮增压油机技术、电子操纵的半自动或自动变速箱、高强度扭杆或液气悬挂装置、防弹轮胎与新型中央轮胎充放气系统;二是采用高强度防弹钢板和铝合金材料、纤维增强复合材料车体和车内衬层、集体三防与个人三防设备、自动报警和灭火装置;三是车内采用自动检测和诊断技术、车辆导航装置、无人驾驶车辆和军用机器人技术等。

装甲输送车虽然机动性强,具备一定的防护能力,但是与坦克配合的能力有限,特别是武器火力较弱,已经不适应现代快速机动作战的要求。在60年代后期,一些国家开始研制步兵战车。

二、步兵战车

步兵战车是在装甲输送车的基础上发展起来的供步兵机动作战用的装甲战斗车辆。步兵战车在火力、防护力和机动性等方面都优于装甲人员输送车,车上设有射击孔,步兵能乘车射击。步兵战车分履带式和轮式两种,其主要用于协同坦克作战,也可独立遂行战斗任务,具有等同或高于主战坦克的越野机动性,满足现代战争条件对步兵快速机动的要求。

进入20世纪60年代,主战坦克发展到第二代,核武器和各种反坦克武器不断发展,特别是反坦克导弹和武装直升机的出现,使火力弱、防护差的装甲人员输送车很难使步兵适时而有效地支援坦克战斗。因此,苏联和一些西方国家开始积极研制步兵战车,以解决步兵协同主战坦克机动作战的问题。

1954年,法国利用AMX-13轻型坦克底盘研制了一种装甲输送车,1956年装备部队。该车载员舱两侧及后车门上开有射击孔,为步兵乘车作战创造了一定的条件。后经改进,该车加强了火力,改称为AMX-VC1履带式步兵战车。苏联于1967年装备了БМП履带式步兵战车,后来成为步兵战车的装备数量最多的国家。20世纪七八十年代,一些国家的军队也先后装备了履带式步兵战车,其主要型号有:联邦德国的“黄鼠狼”,法国的AMX-10P,南斯拉夫的M980,苏联的БМП-2、3,美国的M2布莱德利履带式步兵战车等。轮式步兵战车主要有美国的LAV-25、南非的獾式(Ratel)和西班牙的BMR-600等。

步兵战车战斗全重,一般轻型的为13~15t,重型的为22~30t。功率为200~400kW,

单位功率达 $14\sim 26\text{ kW/t}$ 。步兵战车传动装置以液力机械传动居多,也有采用机械传动的;悬挂装置多为扭杆式。步兵战车公路最大速度,履带式为 $65\sim 82\text{ km/h}$,轮式为 $85\sim 105\text{ km/h}$ 。步兵战车一般能水陆两用,借助履带划水或喷水推进器在水中行驶,水上最大速度一般为 $6\sim 8\text{ km/h}$ 。步兵战车车载武器由火炮、反坦克导弹和并列武器等组成,和步兵携带的各种轻便武器一起,构成一个既能对付地面目标,又能对付低空目标;既能对付软目标,又能对付硬目标的远、中、近程相结合的火力配系。步兵战车火炮多为 $20\sim 30\text{ mm}$ 的机关炮,配用的弹种有榴弹和穿甲弹。车体采用均质钢装甲或铝装甲焊接而成,并配有射孔,便于乘载的步兵从车内射击。步兵战车一般都配有昼夜合一的瞄准镜,夜视部分多数采用微光夜视仪,少数采用主动红外或热像仪。

防护性能要求步兵战车车体正面和炮塔前部能防 $20\sim 25\text{ mm}$ 机关炮炮弹,车体和炮塔两侧能防枪弹和炮弹破片,有的披挂附加装甲或采用间隙复合装甲以增强抗弹能力,一般还配备烟幕施放装置、三防装置和自动灭火装置。

70 年代末,中国根据陆军机械化的需要开始研制步兵战车。86 式(WZ501)履带式步兵战车已批量生产,并有产品出口。86 式步兵战车发动机功率为 293 马力,单位功率约 22 马力/t ,最大时速为 65 km/h (公路)、 7 km/h (水上)。86 式履带式步兵战兵乘员为 3 名,载员为 8 名。炮塔装有 1 门短身管的 73 mm 低压滑膛炮,在火炮右方装有 1 挺 7.62 mm 并列机。目前,中国最新式的履带步兵战车已经装备部队。

我国轮式步兵战车发展比较晚。20 世纪 80 年代中期,中国推出 92 式轮式步兵战车,其外贸代号为 WZ551 步兵战车。92 式轮式步兵战车的驾驶室在前,发动机和传动系统居中,乘员舱置后,车内有效容积大,便于布置弹药和乘员工作位置。92 式轮式步兵战车乘载 $3\sim 8$ 人,战斗全重 13.3 t ,发动机功率 235 kW ,最大时速为 85 km/h (公路)、 7 km/h (水上)。92 式轮式步兵战车的主要武器为一门 25 mm 机关炮和一挺并列的 7.62 mm 机枪,其中 25 mm 机关炮采用双向供弹,它与电气控制系统、开门转换系统和供弹系统配合,可变换弹种、射速和射击方式。此外,92 式轮步兵战车还配备烟幕弹发射器和三防装置。

三、自行火炮

在装甲车辆中,另外一种主要的装备是自行火炮。这种火炮多装备于炮兵部队,主要用于战斗中对坦克和机械化步兵进行不间断的掩护与火力支援。自行火炮同车辆底盘构成一体,自身能运动,属于二线武器。这种火炮越野性能好,进出阵地快,多数有装甲防护,战场生存力强,有些还可浮渡。

在坦克诞生后不久的 1917 年,法国人将一门野战炮安装在坦克底盘上,使其具有机动越野性能,从而能够在各种地形条件下迅速地转移阵地。这就是世界上第一门自行火炮的来源。但这时的自行火炮没有装甲防护,只能用于对步兵进行火力支援。1939 年,纳粹德国占领了捷克斯洛伐克,把捷克斯洛伐克制造的 47 mm 反坦克炮安装在 T-1 型坦克底盘上,制造出了世界上第一门具有装甲防护的炮塔式自行火炮。同年,德国制造了世界上第一辆自行反坦克炮,实战效果良好。后来,德国又发展了 T-III、“斐迪南”“黑猎豹”等火炮口径更大、火力更强的自行反坦克炮,并在第二次世界大战中广泛使用。继德国之后,苏、英、美等国也研制和发展了与德国相似的自行反坦克炮。第二次世界大战时期比较有名的自行火炮是苏联的 CY85、CY100 自行火炮,德国的“黄蜂自行榴弹炮”,美国的 M7 式 105 mm

“牧师”自行榴弹炮。苏联的 CY85 是第二次世界大战中生产最多的自行火炮。

第二次世界大战后，由于新型雷达的出现，火炮的阵地很容易暴露，这就促进了自行火炮的进一步发展。苏联的 M-1974 自行榴弹炮是一种两栖型自行火炮，口径达 122 mm；法国的 AMX GCT 高速射自行火炮，口径达 155 mm；美国的 M110 自行榴弹炮是目前世界上口径最大的自行榴弹炮，其火炮口径达到 203 mm；德国的 PzH2000 自行榴弹炮，口径为 155 mm，能够发射自主搜寻目标抗装甲弹药，并拥有许多附属系统，包括自动火力压制系统、公路导航系统、带有激光测距仪的车载火控系统。

60 年代中后期，我国在 YW531 装甲人员输送车底盘基础上，开发了 54-1 式 122 mm 自行火炮。在 63-1 式履带式装甲输送车底盘的基础上研制的 122 mm 自行榴弹炮被命名为 70-1 式，该炮装备我军装甲兵部队，实现了我军装甲兵部队的火力支援装备由牵引式迈向装甲化、自行化的历史性跨越，大大提高了装甲兵部队整体作战能力。83 式 152 mm 自行加榴炮是我国自行研制的第一门带全封闭式旋转炮塔的自行火炮，它采用的是专门为自行火炮研制的中型通用履带式底盘。在 1984 年 10 月 1 日国庆 35 周年的阅兵式上，该火炮以其雄伟的姿态通过了天安门广场。自 83 式 152 mm 自行加榴炮成功之后，中国又在国产 PLL01 式 155 mm 牵引式火炮的基础上研制了 PLZ45 式 155 mm 自行火炮。PLZ45 式 155 mm 自行榴弹炮为 45 倍口径，身管长度为 45×155 mm，可发射北约制式弹药。这种火炮射程远，射速高，还装有惯性寻北仪、卫星定位接收器、激光测距仪、无线数字对话转换器和全自动操纵瞄准系统等。

四、保障车辆

战斗保障车辆包括所有用于保障坦克部队战斗行动的车辆，可用于执行侦察、工程保障、救援、通信、供弹、布雷、牵引等任务。这些车辆大都有一定的战斗和防护能力，并与战斗车辆一起组成战斗整体，主要包括布雷车、扫雷车、抢救车、抢修车、供弹车、架桥车等。

在第一次世界大战后，英国、法国等国家就借用坦克底盘改装成各种保障车辆，如法国的雷诺 UE 运输车（1931 年）。这是一款小型的履带式运输车辆，能够为前方步兵运输、牵引 400 kg 供给物资。该型号运输车后来被谢尼莱特-洛林 37L 型运输车取代，而谢尼莱特-洛林 37L 型运输车在 1940 年法国沦陷后落入德军之手。在 1944 年之前，德军将该型号运输车设计成临时炮兵而后反坦克炮运载车。20 世纪 30 年代，英国维克斯公司将轻型坦克底盘改装成“布伦”式火炮运输车。第二次世界大战中，这种运输车经常用来运输伤员、运载装备和武器，也经常搭载士兵。20 世纪 30 年代以后，装甲侦察车大量出现，主要有英国的戴姆勒“澳洲野犬”侦察车（1938）、亨伯侦察车（1941）、费列特 MK2 型/3 型侦察车（1953），德国的 SdKfz231/232 装甲侦察车（1932）、SdKfz234 装甲侦察车（1943）等。

在现代战争条件下，战斗行动流动性大，机动性高，用于保障的车辆种类繁多。目前，世界上著名的装甲侦察车主要有：美国通用动力公司地面系统分公司生产的侦察监测及跟踪车（GDLS RST）、英国的“风暴式 30 侦察车”、法国的潘哈德 VBL 侦察车、德国的“山猫”装甲侦察车、俄罗斯的 BRDM-3 型侦察车等。装甲扫雷车主要有美国的“灰熊”（Grizzly）、俄罗斯的 BMR-3M、德国的“野猪”（Keiler）、日本的 92 式等。现代装甲架桥车有平堆式和剪刀式两种。典型装甲架桥车主要有美国的“狼獾”、德国的“鬣蜥”、英国的 BR90 等；典型装甲抢救车主要有美国的 M88A2、英国的“挑战者”、法国的“勒克莱尔”、德国的“水牛”（Buffle）、日本的 90 式等。特别值得一提的是，美国的 M1114 重装甲、高机动性、

多用途轮式车（又称悍马），其变形车包括陶氏导弹发射车、货物运输车、野战救护车、指挥车和其他许多用途的车辆。

20 世纪 50 年代末，我国的装甲工程保障装备开始研制和发展，经历了初期发展、仿制和自行研制三个阶段，形成了较为完整和系统的工程保障装备体系。目前，我国的主要装甲保障装备有 WZ751 型履带式装甲救护车、WZ752 履带式装甲救护车、84 式坦克架桥车、90-Ⅱ 装甲抢救牵引车等。

第三节 坦克装甲车辆的类型

装甲车辆是具有装甲防护的战斗车辆及保障车辆的统称，它是现代陆军的重要作战装备。装甲车辆的分类方法有很多种。通常，按照车辆行动部分的结构形式，装甲车辆分为履带式和轮式，按功能可分为战斗车辆和保障车辆，其中，战斗车辆主要有坦克、步兵战车、装甲输送车、自行火炮、自行高炮、自行榴弹炮、导弹发射车、装甲侦察车、装甲指挥车、装甲通信车等；保障车辆有坦克架桥车、装甲扫雷车、装甲布雷车、装甲抢救车、装甲救护车等，如图 1-3-1 所示。

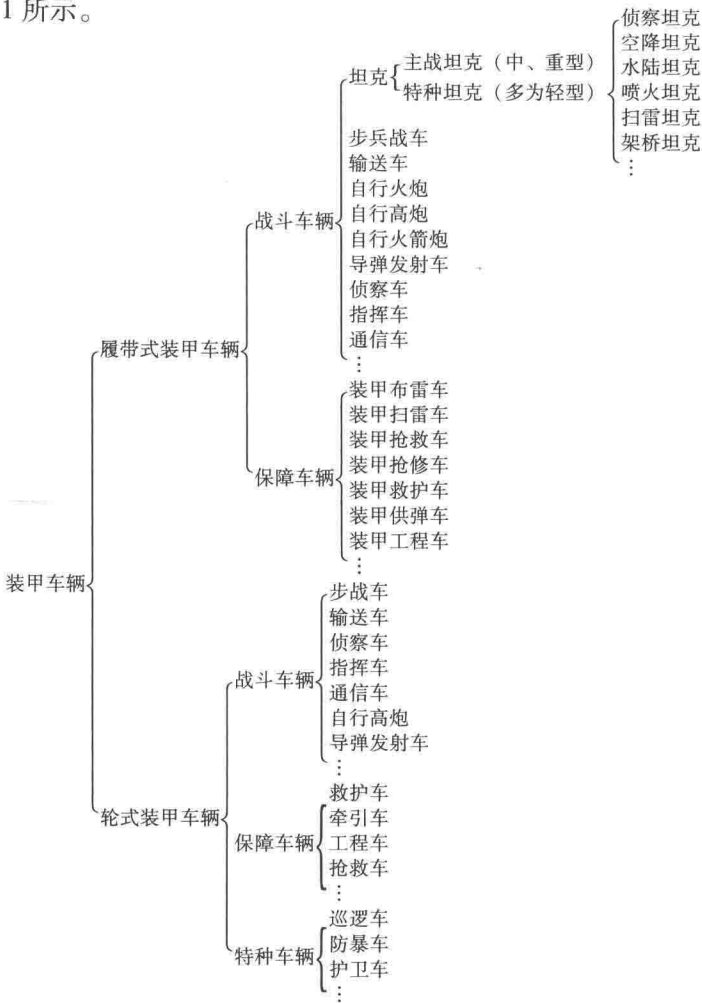


图 1-3-1 装甲车辆分类

一、坦克类型

坦克是装甲车辆的典型代表。20 世纪 60 年代以前,以战斗全重和火炮口径为依据,坦克通常可划分为轻型、中型和重型三种。重型坦克质量为 40~60 t,火炮口径在 122 mm 以下,主要用于支援中型坦克战斗;中型坦克质量为 20~40 t,火炮口径小于 105 mm,用于遂行装甲兵的主要作战任务;轻型坦克质量为 10~20 t,火炮口径小于 85 mm,主要用于侦察、警戒,也可以用于特定条件下的作战。英国曾经将坦克分为步兵坦克和巡洋坦克,步兵坦克装甲厚、机动性差,用于伴随步兵作战;巡洋坦克装甲薄、机动性高,用于机动作战。

20 世纪 60 年代以后,世界各国普遍按照用途将坦克分为主战坦克和特种坦克。其中,主战坦克取代了传统的重型和中型坦克,以完成消灭和摧毁敌方坦克、装甲车辆为首要任务;特种坦克装备特殊设备,担负侦察、空降、扫雷、两栖作战、喷火等专门任务,多数为“轻型坦克”。

二、步兵战车和装甲输送车的类型

装甲输送车和步兵战车都归类于战斗车辆。

装甲输送车分履带式和轮式两种,载员 8~13 人,乘员 2~3 人,除了用于输送步兵外,也可用于输送物资器材,必要时还可以进行战斗。装甲输送车通常具备水陆两用性能,在机械化部队中装备到步兵班。

步兵战车是在装甲输送车的基础上发展起来的,它改变了装甲输送车输送步兵的功能单一局面。在机械化部队中,将步兵战车装备到步兵班后,步兵既可乘车战斗,也可下车战斗。步兵战车的活力强于装甲输送车,一般装备有炮塔,并可发射导弹。步兵战车按照行走机构分为轮式和履带式两种。

三、自行火炮类型

自行火炮可以自行行走,不需要牵引车牵引,还可以缩短射击准备时间,迅速变换阵地,并能够达到原来火炮不能达到的困难地形。自行火炮常按照其安装的火炮类型来分类,作战任务不同,使用的火炮也不同。其中,自行榴弹炮是炮兵歼击和压制性武器,自行加农炮用于打击远距离目标,自行高炮用于打击空中目标,导弹发射车用于远距离歼灭坦克或空中目标。自行火炮以履带式居多,也有采用轮式行走机构的。其中,美国的达信 LAV 攻击性火炮,就采用加拿大 LAV8X8 装甲车底盘与新式 XM35 型 105 mm 口径火炮;法国的凯撒 155 mm 自行火炮,是在改进的梅赛德斯-奔驰乌尼莫克 6×6 卡车底盘上安装了 52 倍口径 155 mm 火炮而成,并且配备了自动装弹机。

坦克和自行火炮的区别主要是由不同用途造成的。就结构性能而言,有以下几点不同:

(1) 火力

坦克是直瞄武器,要求较大的直瞄距离,但对最大射程要求不高,因此坦克炮就是加农炮,俯仰角一般是 $-5^{\circ}\sim 20^{\circ}$;自行火炮以间瞄为主,有些国家的自行火炮甚至连直瞄瞄准具都没有,它对最大射程要求较高,除了自行反坦克炮外,对直瞄距离要求不高,因此自行火炮是以榴弹炮为主,以加农炮、加榴炮、迫榴炮等为辅,火炮的俯仰角一般是 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$,有的甚至可以到 90° (自行高炮)。

（2）火控

坦克一般要求先敌开火、首发命中，所以注重如何先发制人，也就有了稳像式等火控系统及行进间射击的能力；现代自行火炮一般都会有激光陀螺等寻北装置，通过卫星定位等多种手段准确感知自身的位置。目标一旦确定，火控系统会很快算出射击诸元来，接到目标通报后可以迅速射击。

（3）防护

坦克是冲击武器，所受到的攻击主要来自正面，所以坦克的正面装甲非常厚，可以达到几十厘米；自行火炮是远程支援武器，所受到的攻击主要来自敌人远程炮火的打击，也就是四面等概率的炮弹碎片，因此自行火炮前后左右的装甲等厚度而且非常薄。

（4）机动性

为了战术要求，坦克需要快速灵活的机动，要求发动机能够提供强大的加速度和较大的吨功率；自行火炮对此没有过高要求，一般选用类似底盘的坦克发动机或其他类型的发动机。事实上，由于坦克较自行火炮重，吨功率上不占优势，坦克的机动性并不比自行火炮的好。

四、战斗保障车辆的类型

按照用途分类，战斗保障车辆主要有牵引车、侦察车、救援车、通信车、架桥车、布雷车、供弹车、工程车等，其行走机构既有履带式，也有轮式。

第二章

总体构造与行驶基本原理

第一节 装甲车辆行驶基本原理

要使车辆以一定的速度运动，应由外界对车辆施加一个推动力，以克服车辆行驶时的各项阻力。这个推动车辆运动的力称为牵引力，而车辆行驶过程中受到的各种阻力有地面阻力、空气阻力、上坡阻力、加速阻力。如果车辆作为拖车使用，还有挂钩阻力。

一、地面阻力

现在的轮式车辆普遍采用钢质轮胎和橡胶轮胎，因而具有很强的弹性。车轮在硬路面上滚动时，可认为路面不发生变形而仅轮胎发生变形，滚动阻力产生的主要原因是轮胎变形滞后引起的能量损失。车轮向前滚动时，轮胎接地段的前半部分压缩，后半部分舒展，前、后部所受地面垂直力分布不对称，前半部分垂直力大于后半部分垂直力。地面垂直反力的合力大小相等，方向相反，单作用点在车轮的前部，如图 2-1-1 所示。对车轮中心取距，可以得到 $F_x = F_z a / r$ ， F_x 即为滚动阻力。滚动阻力与车轮垂直载荷之比，为滚动阻力系数，它与路面的性质、轮胎的材料和结构等因素有关。此外，车辆的行驶速度也影响滚动阻力系数的大小。

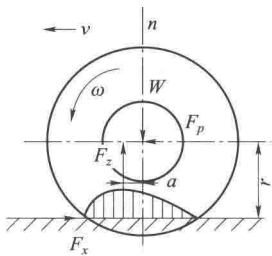


图 2-1-1 弹性车轮在硬路面上受力情况

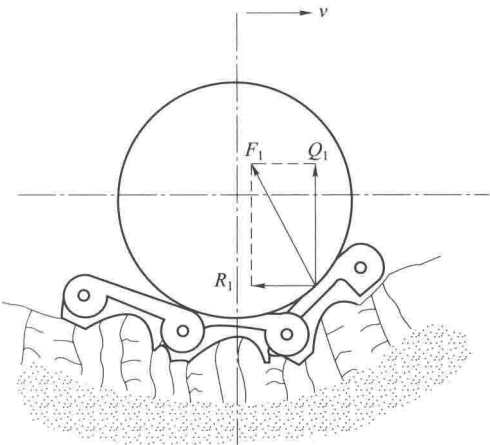


图 2-1-2 负重轮下地面变形阻力

对于履带式车辆来说，与地面接触的是履带。坦克车辆行驶所受地面阻力，主要是由于负重轮在履带上滚动时，负重轮承受坦克的重力，并通过履带作用在地面上，使履带下面的土壤受到挤压而发生变形（图 2-1-2），在负重轮的前面形成斜坡，产生对履带前进的阻力 F_1 。 F_1 指向负重轮中心。 F_1 可分解为水平方向分力 R_1 和垂直方向分力 Q_1 ，图中只表示了一个负重轮受力情况。所有负重轮下面的土壤发生变形而产生的阻止坦克运动的水平方向分力的合力，即为坦克行驶时地面的变形阻力，以 R_f 表示。坦克在水平地面时， $R_f = fG$ ， f 为坦克的

运动阻力系数, G 为坦克的附着重力。需要说明的是, 后面的负重轮总是沿着前面负重轮压实的土壤行进, 第一个负重轮驶过时, 地面变形较大, 第二个负重轮次之, 以后逐渐减小, 所以各个负重轮处履带所受的变形阻力是不等的。地面变形阻力 R_f 方向与坦克运动方向相反, 其大小与坦克的重力、地面性质、履带的结构形式等有关。

这里需要说明的是, 对于轮式车辆, 地面阻力称为滚动阻力, 在 $F_x = F_z f$ 中, f 为滚动阻力系数; 对于履带式车辆来说, 地面阻力称为变形阻力, 在 $R_f = Gf$ 中, f 为地面变形阻力系数, 表现形式一样。

二、空气阻力

车辆在行驶时所受到的空气阻力可分为摩擦阻力和压力阻力两部分。空气与车辆表面产生相对运动而互相摩擦形成沿着车辆行进方向的阻力即是摩擦阻力。车辆的压力阻力包括以下几部分: 一是形状阻力, 是车辆前部受到迎面空气流的压力, 而后部因空气涡流而产生真空度时形成的阻碍车辆行驶的阻力, 其大小与车辆的形状有关, 占空气阻力的大部分; 二是干扰阻力, 即车辆在行进过程中, 突出车体表面部分 (车把手、后视镜、天线、装甲车辆栅栏、高射机枪、炮身等) 所引起的阻力, 占空气阻力的一小部分; 三是诱导阻力, 是指车体上下表面压力差在水平方向的分力, 这一部分只占很小的比重; 四是内循环阻力, 是由于空气流经车内 (发动机冷却系、车内通风装置等) 所形成的阻力, 占空气阻力的一小部分。

三、坡道阻力

车辆在坡道上行驶时, 因本身的重力沿路面方向的分力所形成的阻力 $G \sin \alpha$ (图 2-1-3), 即上坡阻力, 以 R_i 表示, 故 $R_i = G \sin \alpha$ 。坡道阻力大小由车辆重力和道路的纵向坡道角决定。车辆在水平路面上行驶时, 没有坡道阻力。

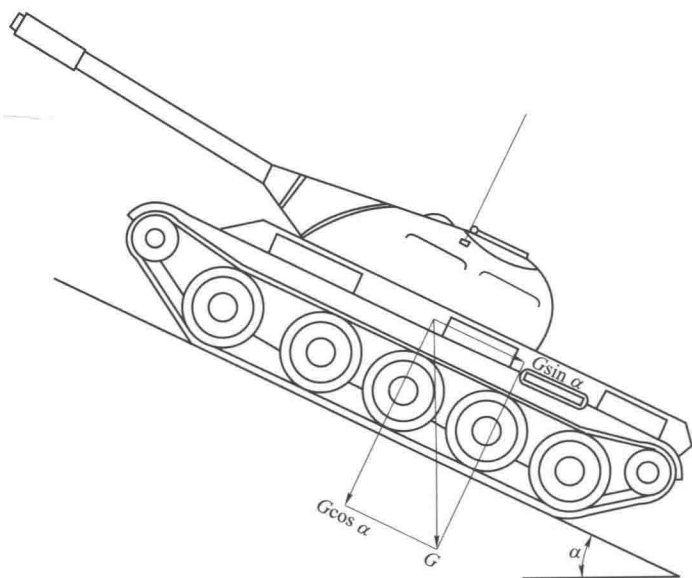


图 2-1-3 坡道阻力

四、加速阻力

车辆在加速行驶时需要克服车辆的惯性力，从而产生了车辆的加速阻力，以 R_a 表示。

车辆在不牵引其他车辆时，没有挂钩阻力；车辆在水平道路上行驶时，没有坡道阻力；车辆匀速前进时不存在加速阻力；而空气阻力和地面阻力在整个行驶过程中是始终存在的。

五、驱动力

驱动车辆的能量通常由发动机提供。为了克服车辆运动所遇到的上述阻力，发动机必须有足够的功率，以产生足够大的牵引力。发动机提供的扭矩 M_e 经过传动系统作用到轮式车辆的驱动轮或履带车辆的主动轮，驱动轮或主动轮获得的扭矩称为驱动力矩。对于轮式车辆，驱动力矩产生一对地面的圆周力 F_0 ，地面对驱动轮的反作用力 P （方向与 F_0 相反）即是驱动车辆的外力（图 2-1-4），此外力称为驱动力。对于履带车辆，主动轮转矩企图从后负重轮下把接地地区段的履带抽出，而产生一拉力 P （图 2-1-5），将履带工作区段拉紧，引起履带接地区段与地面之间的相互作用，从而产生摩擦力和啮合力。所有摩擦力和啮合力的合力就是地面对接地段履带的切向反作用力。这个切向反作用力阻止履带接地地区段向后移动，作用方向与车辆运动方向相同。这个力作用到车体上，就是推动车辆运动的驱动力，其大小与 P 相等。

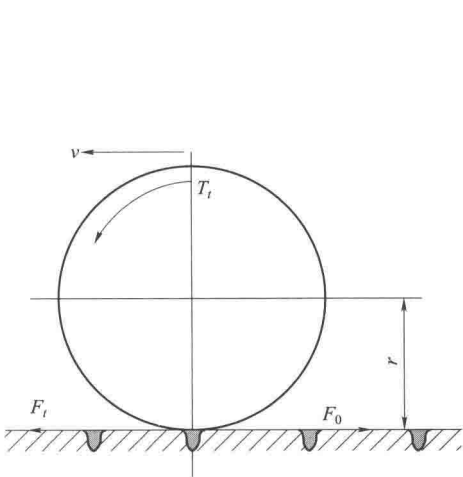


图 2-1-4 轮式车辆的驱动力

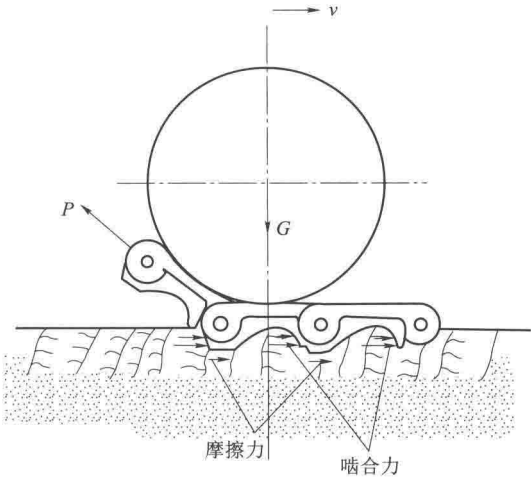


图 2-1-5 履带车辆驱动力产生原理

六、车辆行驶条件

根据上面的分析，可以得到车辆的行驶方程式：

$$P = R_f + R_w + R_j + R_i$$

这个公式表示在无风天气条件下，正常道路行驶的车辆的驱动力和阻力的关系。

车辆行驶需同时满足下面两个条件：

(1) 驱动条件

$$P \geq R_f + R_w + R_i$$

即车辆的驱动力必须大于或等于地面阻力、坡道阻力和空气阻力之和。满足驱动条件，车辆才能够匀速或加速行驶；如果不满足驱动条件，车辆将减速直至停止。

(2) 附着条件

$$P \leq \varphi W$$

式中， W ——能产生驱动力的垂直于地面的车辆负荷；

φ ——地面的附着系数。

驱动力足够大，车辆也不一定能够行驶。例如，在冰雪路面经常会出现车辆打滑而不能行驶的现象。此时，尽管变速机构已挂入最低挡，发动机能够发出最大扭矩，但驱动力还受到车辆与地面之间的附着条件限制。对某种路面，附着作用所决定的防止车辆打滑的最大摩擦力或最大抗剪切力称为该种路面的附着力。

当车辆同时满足上述两种条件时，才能够行驶。

第二节 装甲车辆的系统组成

坦克装甲车辆虽然种类繁多，但其中的主要战斗车辆都是由武器系统、防护系统、推进系统、通信系统和电气设备组成的，某些车辆还有一些特种设备和装置。

一、武器系统

坦克装甲车辆的武器系统是指构成坦克装甲车辆火力的武器和火控系统的综合体，用以迅速、准确地发现、瞄准和摧毁目标。

(一) 武器

1. 坦克

坦克武器包括火炮、机枪和弹药（包括导弹）。

坦克炮（图 2-2-1）是坦克的主要武器，一般为一门加长身管的大口径线膛炮或滑膛

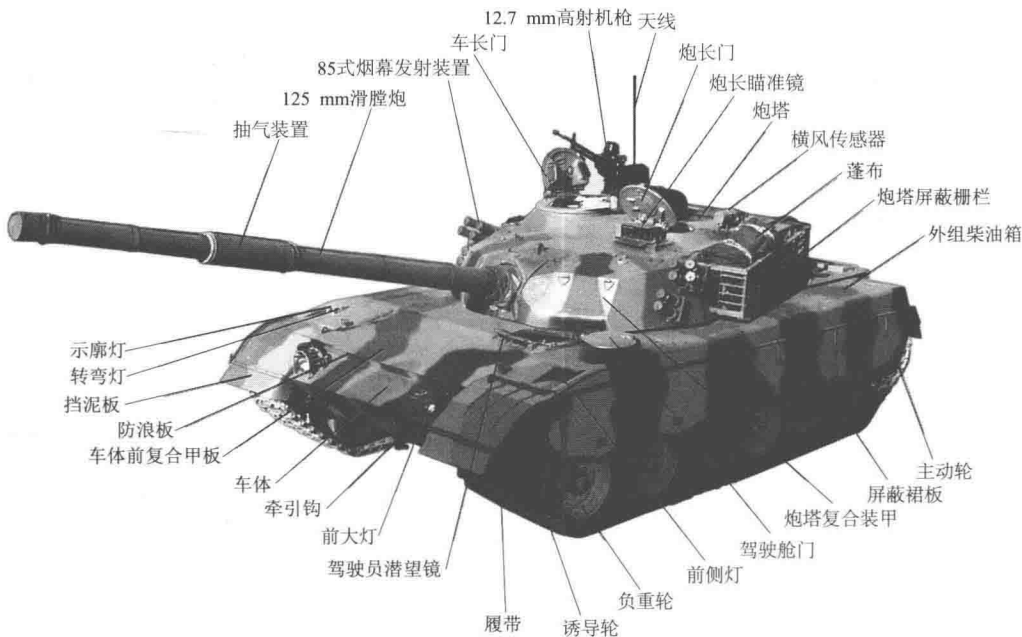


图 2-2-1 主战坦克的外形

加农炮,通常安装在可旋转的炮塔内。机枪是坦克的辅助武器,通常有并列机枪和高射机枪,此外,坦克中还装有乘员使用的手提式武器,如冲锋枪、手枪和数量不等的手榴弹等。

现代坦克都配有 35~60 发不同的炮弹、几千发机枪子弹和一些高射机枪子弹。这些弹药均配备在车体和炮塔内适当的位置。炮弹中主要有穿甲弹、破甲弹、碎甲弹和榴弹。有的坦克采用单一的多用途弹来代替多品种炮弹,有的坦克还配备炮射导弹。

2. 步兵战车

步兵战车的武器主要由火炮、反坦克导弹和并列武器组成,它和步兵携带的各种轻便武器一起,构成一个既能对付地面目标又能对付低空目标,既能对付软目标又能对付硬目标的远、中、近程相结合的火力配系。

小口径火炮为步兵战车的主要车载武器,一般为 20~30 mm 口径的机关炮。例如,美国的 M2 布雷德利步兵战车的主要武器为一门 25 mm 机关炮,德国“黄鼠狼”步兵战车采用的是 20 mm 火炮,英国的“武士”步兵战车配置的是一门 30 mm 的“拉登”加农炮,法国的 VBC1 步兵战车配置的是 25 mm 加农炮。步兵战车采用的火炮一般都能够高平两用。步兵战车配备的弹种有榴弹和穿甲弹,一般采用单向或双向单路供弹,采用双向单路供弹的目的在于根据目标威胁不同,迅速更换弹种。除机关炮以外,少数步兵战车采用低压滑膛炮,如我国的 86 式步兵战车,其主炮是一门短身管的 73 mm 低压滑膛炮,而我国的 04 步兵战车则采用 100 mm 口径的线膛炮,其右侧装有刚性相连的 30 mm 机关炮和主炮。

步兵战车配备的反坦克导弹多为红外半自动制导(也有激光制导或有线制导)的第二代反坦克导弹,如美国的 M2A2 布雷德利步兵战车配置陶氏(TOW)导弹发射器,命名为 M6 的布雷德利后卫球员的战车上原有的陶氏导弹被 4 个地对空导弹所取代。德国的“黄鼠狼”步兵战车采用米兰(MILAN)。苏联的 BMЛ-3 双人炮塔上安装了一个新型 2K23 武器装备系统,其包括一门 100 mm 的 2A70 火炮、一门 30 mm 自动加农炮和一挺 7.62 mm PKT 同轴机枪。2A70 火炮可将强大的高爆弹以 8~10 发/min 的速度发射到很远的射程,它还可以发射非常昂贵的激光制导抗装甲 AT-10(9M117)导弹来对付坦克和直升机。

3. 自行火炮

自行火炮是同车辆底盘构成一体的自身能运动的火炮,其主要武器为火炮。

自行火炮按火炮种类可分为自行加农炮、自行榴弹炮、自行高射炮、自行反坦克炮、自行无坐力炮、自行迫击炮等。

4. 自行榴弹炮

自行榴弹炮是同车辆底盘构成一体、靠自身动力运行的榴弹炮。自行榴弹炮分为履带式自行榴弹炮和车载式自行榴弹炮。

典型的履带式自行榴弹炮有美国的 M109A6“帕拉丁”式 155 mm 自行榴弹炮,其 39 倍口径的 M284 型榴弹炮可以在 13 s 内发射 3 发炮弹,并可在运动状态下实现炮弹 60 s 内首发,其载弹量为 39 发。美国的“十字军战士”自行榴弹炮是为取代 M109A6“帕拉丁”式而研制的,该车型配置的新型榴弹炮(被称为 XM2001 型)具有在下达攻击命令后的 30 s 内迅速射击,并且能够达到 10 发/s 的能力,其后续型号 XM2002 型车的储弹量为 110 发。

相较于履带式自行榴弹炮,车载式自行榴弹炮具有较强的战术机动性、快速反应能力,列装成本低和操作、维修方便等优点。车载式自行榴弹炮是以一种成本较低廉的牵引式榴弹炮与卡车底盘有机结合而成的。在世界先进的 155 mm 车载式自行榴弹炮中,比较典型的有法

国的“恺撒”、南非的 T5-52、以色列的 ATMOS-2000 和瑞典的 FH-77BD 四种型号。

5. 自行高炮

同自行榴弹炮一样，自行高炮也是与车辆底盘构成一体、依靠自身动力运行的。自行高炮可以伴随装甲集团军开进，为整个建制在机动中提供防空保障。即使是在卡斯特地貌或者其他较复杂地貌情况下，自行高炮依然可以像坦克、装甲车一样在开进中提供防空保障。

在当代自行高炮中，首屈一指的当属德国的“猎豹”自行高炮。它不仅生产数量和装备数量最大，而且开创了“三位一体”自行高炮的新时代，即将高炮的火力、火力指挥控制、电源供给这三大块综合到一起。

“猎豹”自行高炮采用两门瑞士厄利孔公司的 KDA 型 35 mm 机关炮。这种机关炮射速高、威力大、可靠性高，是一种成熟的产品。

中国 95 式自行高炮采用坦克底盘，其上装有一个单人炮塔，炮塔上装备了 4 门 25 mm 机关炮和 4 枚防空导弹。导弹将用来对付远距离目标，而 25 mm 机关炮负责距离 2 500 m 以内和高度 2 000 m 以下的直升机和战斗机。

6. 自行火箭炮

所有的自行炮都是将火炮安装在移动的轮式或履带式车辆的底盘上，自行火箭炮也不例外。20 世纪 70 年代以前，各国装备的自行火箭炮以轮式卡车搭载的为主，履带式的比较少见。

我们熟知的“喀秋莎”火箭炮是一种多轨道的自行火箭炮，共有 8 条发射滑轨，一次齐射可发射口径为 132 mm 的火箭弹 16 发，最大射程 8.5 km。它既可单射，也可部分连射，或者一次齐射，而装填一次齐射的弹药需 5~10 min，一次齐射仅需 7~10 s。自行火箭炮可以装在轮式底盘上，也可装在履带式底盘上。

美军 M270 自行火箭炮系统在后部的发射箱装有 12 枚待发火箭弹，弹径 227 mm，所用的弹种主要有 M26 双用途火箭弹和 AT2 反坦克雷火箭弹。火箭炮的威力几乎全在弹上。一辆 M270 自行火箭炮发射 M26 弹时，一次齐射可以打出 7 726 枚火箭弹，像“天女散花”一样散布到 6 个足球场大小的面积上，顿时形成一片火海。

在履带式自行火箭炮中，比较有名的还有以色列的 LAR 160 mm 自行火箭炮、日本的 75 式 130 mm 自行火箭炮和中国的 70 式 130 mm 自行火箭炮等。

7. 自行迫击炮

迫击炮，本来是步兵支援武器。随着口径增大，中、大口径迫击炮的机动部分已不能靠肩背人扛，而需要牵引或车载。于是，一批车载式的中口径自行迫击炮应运而生。从结构类型上看，自行迫击炮有履带式的和轮式的，有炮塔式的和后开式的，有单管的和双管的等。自行迫击炮中，口径以 120 mm 的主流。

典型的自行迫击炮有瑞典的 AMOS 120 mm 双管自行迫击炮，它安装在炮塔上，采用后装式车内装弹，能在 15 s 内发射 6 发弹，最大射程可达 10 km。

（二）火控系统

火控系统是控制武器自动或半自动地实施瞄准与发射的装备的总称，是武器火力控制系统的简称。现代坦克炮、现代火炮、自行火炮、战术火箭和导弹、机载武器（航炮、炸弹和导弹）、舰载武器（舰炮、鱼雷、导弹和深水炸弹）等大多配有火控系统。

坦克火控系统是坦克上用于搜索目标、发现目标和操纵武器进行跟踪、瞄准和射击的一整套自动化或半自动化装置，其一般由观察测距瞄准装置、火炮稳定及控制装置、火控计算

机及传感器等组成，如图 2-2-2 所示。

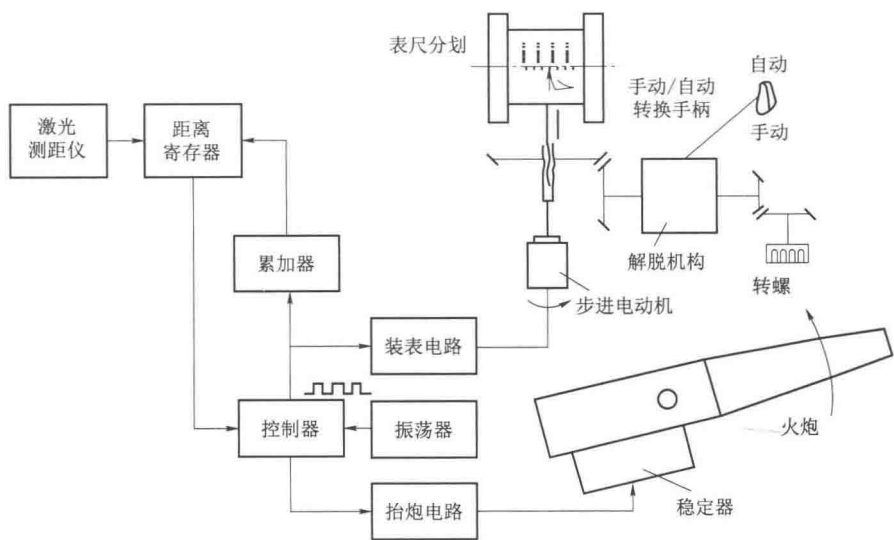


图 2-2-2 坦克火控系统工作原理

坦克上的观察测距瞄准装置主要包括：供乘员观察用的潜望镜、炮塔上的瞄准镜和激光测距仪。为了提高坦克夜战能力，一般坦克还有夜视夜瞄装置，主要是微光夜视仪或红外热成像仪。火炮稳定及控制装置包括火炮双向（即高低和水平方向）稳定器。火炮的高低俯仰角通过高低机来控制，水平方向的改变通过炮塔方向机控制炮塔的旋转来实现。除了一套电气系统或液压系统来控制火炮外，坦克上还有一套手动装置可用来控制火炮。现代坦克的火控计算机均为数字式计算机，传感器包括环境温度传感器、火炮耳轴倾斜角传感器、横风传感器等。

坦克属于一线突击武器装备，其火控系统要求能够先敌发现、先敌开火、首发命中，具备了行进间射击的能力，于是就产生了稳像式等火控系统；自行火炮属于二线支援武器装备，目标位置一般来自观察所得或上级通报，自身位置信息通过激光陀螺等寻北装置或卫星定位等多种手段确定，结合自身位置信息和目标信息，火控系统就能很快算出射击诸元。

步兵战车和装甲运输车等战斗车辆，因作战对象不同，采用的武器不同，装备的火控系统也就不同，但基本上观察测距瞄准装置是必不可少的。

二、防护系统

坦克装甲车辆的防护系统是车辆上用于保护乘员、载员及设备免遭防坦克武器损伤或降低其损伤的所有装置的总称，包括装甲防护（车体与炮塔）、三防装置、灭火抑爆装置及伪装器材等。

（一）车体

坦克装甲车体指的是用装甲材料制造、构成车辆底盘的刚性壳体。典型的坦克车体如图 2-2-3 所示，它由车首甲板、侧甲板、车尾甲板、底甲板、顶甲板及车内隔板等组成。

现代主战坦克采用较厚的中硬度钢装甲，以抵御反坦克炮弹或导弹。坦克前部中弹概率高，装甲最厚，多采用复合装甲，因此防护力最强；侧部和后部次之，顶部和底部最弱。坦克车体的制造有铸造和焊接两种方法，多数主战坦克采用焊接车体。现代坦克车体外可选挂

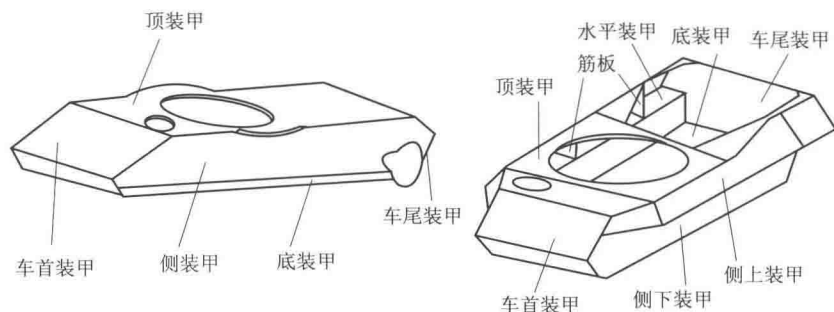


图 2-2-3 坦克车体

爆炸反应装甲、模块式附加装甲，内加防崩落涂层，从而进一步提高了防护能力。

对于其他的装甲车辆，按照战场使用不同，其装甲车体防护能力各不相同。

步兵战车、装甲输送车的车体为封闭式，一般采用高硬度装甲钢、钢加铝合金或铝合金制造，其厚度较薄，外形低矮，车体扁平，多棱、多倾角。车内有纵横交错的梁、筋、立柱、隔板等结构，以提高整车刚度和强度，且有屏蔽装甲和空心装甲的作用。有的车辆还安装了爆炸反应装甲、模块式附加装甲和双层装甲，大大增加了防护能力。

自行火炮的装甲按照防护程度，可分为全装甲（封闭式）、半装甲（半封闭式）和敞开式三种。自行火炮遭受的攻击主要来自敌人远程炮火的打击，也就是四面等概率的炮弹碎片，因此，自行火炮前后左右的装甲是等厚度且非常薄的。美国的 M109A6 “帕拉丁”式 155 mm 自行榴弹炮采用了“凯芙拉”装甲。

（二）炮塔

炮塔安装在车体顶部，与车体组成装甲壳体，是坦克装甲车辆防护的基础，用以直接抵御反装甲武器和特种武器的攻击。炮塔安装有武器和各部机件，能赋予火炮圆周射界，并能承受射击和行驶时的负荷。炮塔的成型方式有钢铸造和焊接两种。现代坦克中，有的在炮塔上挂装了各种形式的反应装甲、复合装甲和屏蔽装甲，炮塔内加装“防崩落涂层”等措施来抵御对方火力的攻击。

（三）三防及烟幕施放装置

三防装置用以保护乘员、载员和车内机件免受或减轻核、化学和生物武器的杀伤和破坏。三防装置一般由放射线报警器、增压风机、空气过滤吸收器和密封装置（密封组合件、自动关闭机构等）等组成。这是超压式集体三防装置，还有个人佩戴的防毒面具等个人防护器材。为提高防核辐射，特别是防中子的能力，有的坦克装甲车辆在乘员室装甲内壁衬有防护层，或在复合装甲中加入防辐射材料。

（四）灭火及灭火抑爆装置

坦克装甲车辆的动力舱基本上是密闭的。发动机工作后，动力舱的温度很高。由于燃油、润滑油的泄漏，动力舱内总是充满着油雾，很容易引起火灾。坦克装甲车辆在被敌人武器击中后，常引起车内的燃料和弹药的爆燃，产生“二次效应”，从而造成坦克装甲车辆乘员、载员的死亡，战斗力丧失，所以坦克装甲车辆上需要配备灭火及灭火抑爆装置。在坦克装甲车辆的动力传动部分安装有自动灭火装置，在战斗部分装有灭火抑爆装置。早期的灭火

器材是手提式灭火器，后来出现了半自动装置、自动灭火装置和自动灭火抑爆装置。自动灭火抑爆装置由光学探测器、逻辑控制机构和灭火瓶组成，既能快速灭火，又能在百毫秒时间内抑制住由“二次效应”所造成的车内油气混合气的爆炸，并将超压和辐射热量控制在一定范围内，使乘员不致遭受永久性损伤和身体裸露部位的二度烧伤。

(五) 伪装与隐身器材

伪装防护指的是坦克装甲车辆上采取的隐蔽自己和欺骗、迷惑敌方的措施。伪装防护过去通常包括烟幕、伪装涂层和遮盖等。烟幕施放装置是在坦克装甲车辆的炮塔两侧安装的投射式烟幕弹发射管，或是在车内采用的热烟幕施放装置，用来大面积施放烟幕，遮蔽敌人的观察仪器，从而掩护车辆和辎重撤退或转移。现代烟幕施放装置不仅可以施放普通烟幕，还可以施放防红外、激光、雷达波的烟幕；不仅可以干扰敌方侦察，还可对反坦克导弹进行干扰。

隐身防护指为减小或抑制坦克装甲车辆的目视、红外、激光、声响、热、雷达等观测特性而采取的技术措施。

三、推进系统

坦克装甲车辆上将燃料燃烧产生的热能转换成机械能，然后经过传输、控制，使车辆获得机动性能的联合装置称为推进系统。推进系统由动力装置、传动装置、行动装置和操纵装置组成，如图 2-2-4 所示。按照车辆使用环境，推进系统分为陆上推进系统和水上推进系统。

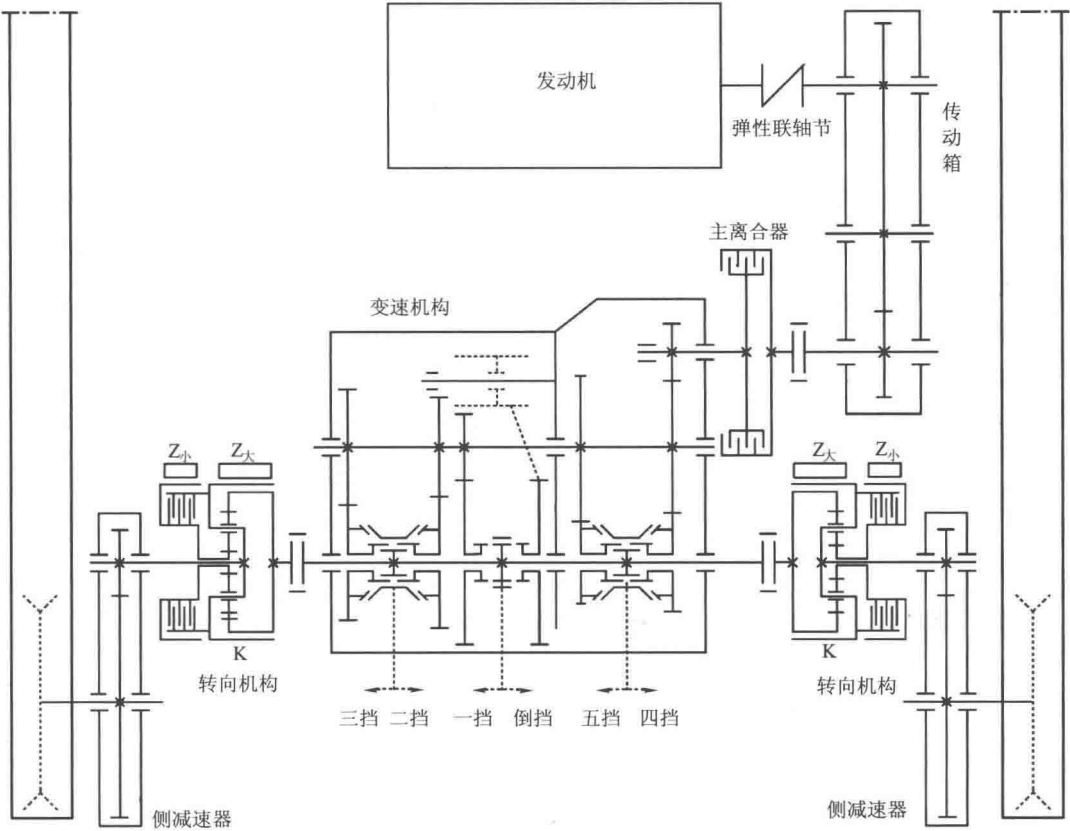


图 2-2-4 坦克推进系统

（一）动力装置

坦克装甲车辆动力装置由发动机及冷却、润滑、燃料供给、进排气、启动、加温等辅助系统构成，是坦克装甲车辆的动力源。

坦克装甲车辆的动力装置，以柴油机为主，少数采用燃气轮机。汽油机由于耗油量大、宽度小、易燃烧起火、电火花点火系对电台工作干扰等缺点，很少被坦克装甲车辆采用。

（二）传动装置

将发动机产生的机械能传给行动装置（主动轮或水上推进器），并改变车辆的行驶速度、牵引力和行驶方向的部件称为传动装置。传动装置一般包括主离合器、变速机构、转向机构、制动器和前传动、后传动等机构。此外，轮式坦克装甲车辆的传动装置还包括分动机构。

（三）行动装置

行动装置用以支撑车辆，保障车辆平稳行驶和帮助其克服障碍。不同的行动装置的组成是不同的。坦克装甲车辆的行动装置包括推进装置和悬挂装置。

陆上推进装置有轮式和履带式两种形式。轮式装甲车辆通常采用全轮驱动，非全轮驱动的车辆还有支撑车辆的从动轮。履带式推进装置一般包括主动轮、负重轮、拖带轮、履带、履带张紧装置、诱导轮和拖带轮。水上推进装置一般是喷水推进器和螺旋桨，速度要求不高时，直接利用履带或车轮划水。

悬挂装置安装在车体和接地车轮之间，包括弹性元件、阻尼元件及相关的控制和连接件。

四、通信系统

坦克装甲车辆通信系统是装设在车内的通信工具的总称，分为车内和车际两部分，包括无线电台、车内通话器及信号枪、信号旗等。无线电台由收发信机、电源、天线装置等组成，用来完成车辆与车辆、车辆与地面之间的通信，通常与车内通话器连接使用，主要用于收发无线电话，有的也可收发电报。无线电台配上保密和电子对抗装置后，可进行保密、抗干扰通信。车内通话器主要用于乘员间相互通话，也可供乘员控制电台对外联络，由通话盒、胸前开关、坦克帽和插接件组成。车外人员还可利用搭载兵通话盒（插座）与车内乘员联络。

随着电子技术的发展，现代高技术条件下的战场成为信息化战场，要求坦克装甲车辆具有指挥、控制、通信、侦查的能力，因此出现了车辆综合电子系统。这种系统以多路传输数据总线为核心，将车内原有的通信设备、电气设备和新增的指挥、控制、计算机、情报监视、侦察等设备综合成一个系统，实现车内、车际信息共享和以单车为基础的指挥自动化，进而构成装甲车辆电子信息系统。

五、电气设备

坦克装甲车辆电气设备指的是车辆上供电用电装置、器件和仪表的总称，由电源装置、耗电装置、辅助器件、检测仪表及全车电路等组成。电源装置用以供给全车耗电装置用电，由带调节断电器的发电机和蓄电池组组成。发电机由坦克发动机带动，是坦克的主要电源。

当发电机与蓄电池组并联，发电机电压大于蓄电池组电压时，发电机向蓄电池组充电。蓄电池组主要用于向启动电动机供电，当发电机不工作或输出电压组低于蓄电池组电压时，耗电装置供电则由蓄电池负责。在大负荷电流情况下，蓄电池和发电机共同供电。耗电装置包括武器系统、推进系统和防护系统中用的电动机，以及通信、照明设备等。坦克电气设备中还有用于控制和保护电路的辅助器件，指示发动机或电气设备工作状况的检测仪表、信号灯和报警器，连接电源与耗电装置的导线和装配连接件等。

六、其他特种设备和装置

除以上的系统和设备外，坦克装甲车辆上还有一些特种设备。不同的车辆配置的特种设备也不同，主要有潜渡装置、作业装置、导航设备、随车工具、备件和附件等。

潜渡装置是坦克装甲车辆用来克服一定深度和宽度水障碍的各种器材和设备的总称，包括密封器材、排水设备、发动机水下进排气装置和个人救生设备等。

作业机构指的是在装甲工程车的车体或上部结构的上面安装的各种不同机构，如挖斗或铲斗、推土铲，液压绞盘和吊臂，地锚、地钻，扫雷犁/推土铲联合作业装置，破坏工事炮、爆破装药发射管和地雷发射管等。

导航设备是用于能见度低和无明显目标条件下引导坦克行驶的仪器，如陀螺罗盘导航装置。

坦克装甲车辆上的随车工具指的是专用工具、通用工具和自救工具。其中，专用工具包括发动机专用工具、机枪和火炮等的保养工具、行动装置专用工具、润滑油加注专用工具等；通用工具，即锤子、撬杠、扳手、钳子、工作灯等；自救工具，有牵引钢丝绳、自救圆木、斧子、铁锹等。

附属设备指的是火炮、机枪、电台等的防尘设备，医药箱、饮水桶等生活急救设备和随车文件等。

坦克装甲车辆上的备份零件主要有机枪、火炮的备件，车内通话器的备件，光学仪器的备件，备用履带板以及螺栓、螺母、垫圈等一些紧固件等。

第三节 装甲车辆的一般构造

一般，坦克装甲车辆内部通常划分为驾驶室、战斗室、动力传动室三部分，如图 2-3-1 所示。不同的装甲车辆上这三个部分的位置会有不同。主战坦克从前到后一般是驾驶室、战斗室和动力传动室，也有的车辆将战斗室和载员室分开，形成四个独立空间。

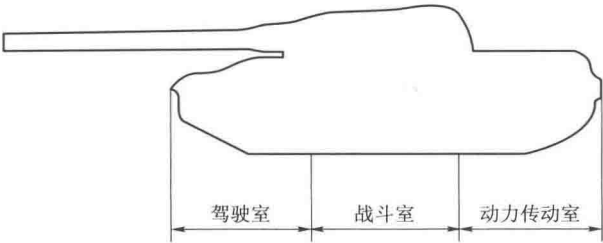


图 2-3-1 坦克的内部空间划分

驾驶室内主要有驾驶员、车辆操纵装置、潜望镜、检测仪表、驾驶椅等，并且开有驾驶

窗。驾驶窗开在驾驶室的顶部。驾驶室通常布置在车辆左前侧，也有车辆将其开在右前侧（德国“豹II”坦克，图 2-3-2（b）），还有开在前部中央（苏联 T-72 坦克，图 2-3-2（c））。瑞典的 S 坦克驾驶舱在后部（图 2-3-2（f）），还有的坦克将驾驶员与车长、炮长集中在炮塔内，如美国和德国合作研制的 MBT-70 坦克（图 2-3-2（d））。

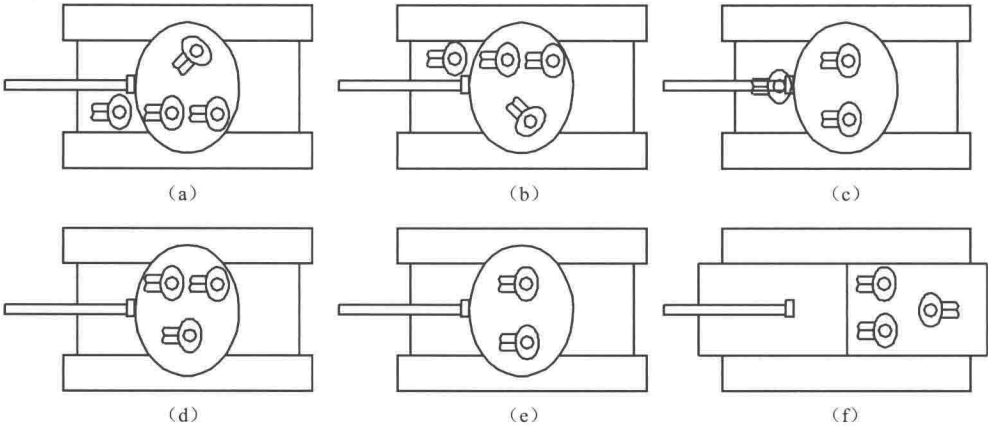


图 2-3-2 不同坦克的乘员布置方案

战斗室与驾驶室相通，里面主要有战斗人员、武器、弹药和火控装置、通信设备、三防装置、灭火抑爆装置和座椅等。坦克战斗室内一般有一人：车长、炮长和装填手（图 2-3-2（a））。现代坦克采用自动装弹机，因此炮塔内只剩下两人：车长、炮长（图 2-3-2（c））。有的步兵战车炮塔内只有炮长一人，这种炮塔称为单人炮塔。当坦克将驾驶员与车长、炮长集中在炮塔内，再采用自动装弹机时，全车则只有两人，这是现在坦克的最少人数。

动力传动室与战斗室隔开。这部分装有发动机及其辅助系统的部分机件，如水散热器、冷却风扇、进排气百叶窗、启动系统等，还有变速机构、转向机构等传动部件及其控制机构等。

履带式步兵战车和装甲输送车的空间划分为驾驶室、动力传动室、战斗室和载员室。图 2-3-3 所示为步兵战车的车内布置平面示意，图 2-3-4 所示为某履带式装甲输送车的三向布置。

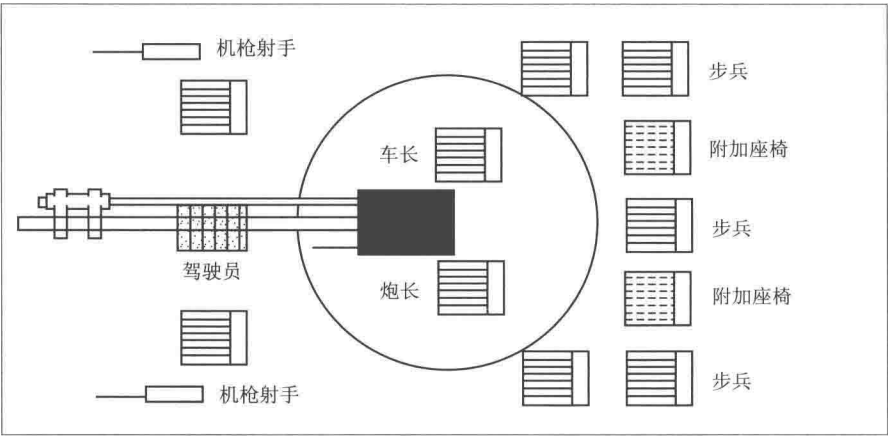


图 2-3-3 步兵战车的车内布置平面示意

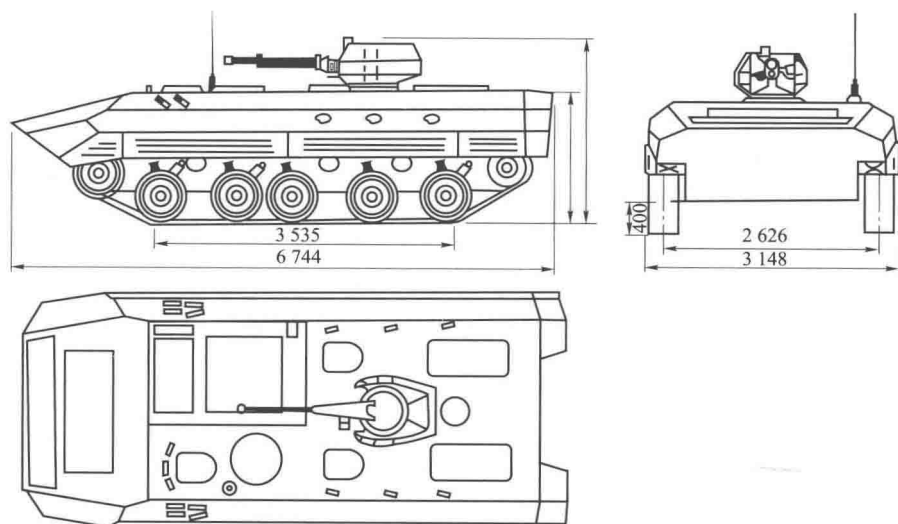


图 2-3-4 某履带式装甲输送车的三向布置

轮式装甲车辆与履带式装甲车辆在空间划分上没有本质不同，都是针对不同的用途划分不同的空间。一般来说，空间划分为驾驶部分、动力部分、传动部分、战斗部分和载员室。

驾驶部分一般来说与战斗部分相通，动力部分单独形成动力室，因为轮式车辆全轮驱动的特点，其传动部分是分散布置的，没有单独的传动室，战斗部分和载员部分有时合二为一，有时一分为二。



第二篇

坦克装甲车辆的武器系统

坦克装甲车辆武器系统的功能是压制、消灭敌坦克装甲车辆、反坦克兵器及其他火力，摧毁敌野战工事，歼灭敌有生力量。另外，坦克装甲车辆的高射火力还有对付敌低空目标的功能。

坦克装甲车辆武器系统由武器和火力控制系统组成，反映火力威力和火力机动性，通常包括主要武器和弹药、火控系统、自动装弹机和辅助武器等部分，是坦克中重要的组成系统之一。

武器与弹药

坦克装甲车辆上配置的武器由主要武器、辅助武器及其弹药组成。它的主要武器通常为是一门火炮，火炮是坦克装甲车辆火力的体现，它可以发射多种弹药。有的装甲车辆，如俄罗斯的 T-90 还可以发射反坦克导弹，这又增添了火炮的威力。辅助武器包括在坦克装甲车辆上安装的并列机枪、高射机枪、航向机枪，以及乘员下车作战或自卫使用的冲锋枪、手榴弹等（图 3-0-1）。

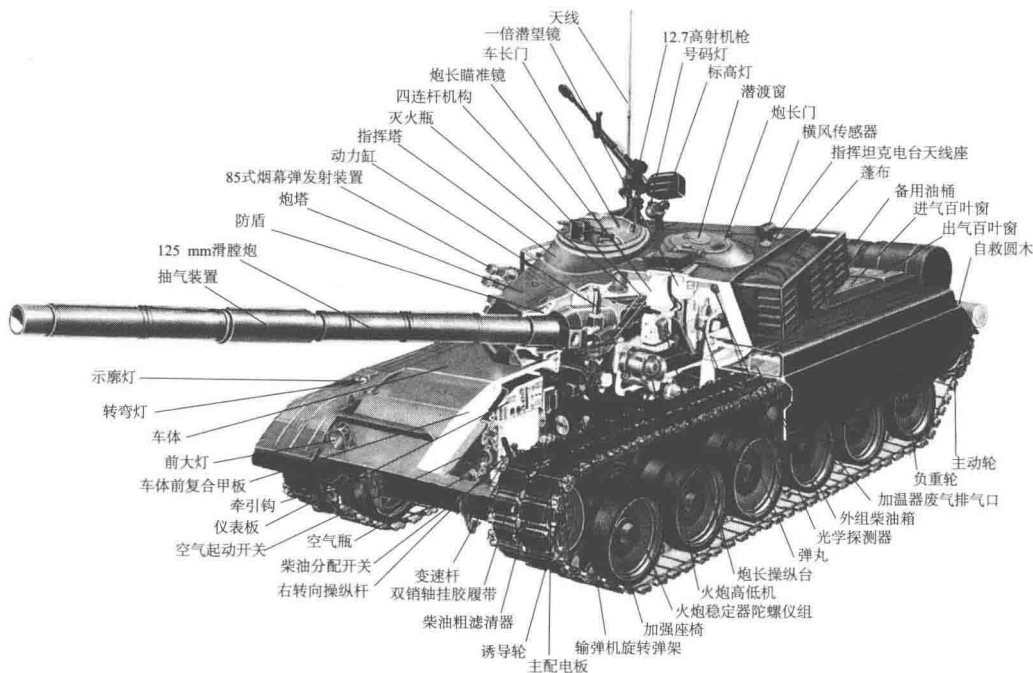


图 3-0-1 坦克

第一节 坦克火炮

一、坦克火炮的发展

(一) 世界坦克火炮的发展

早在 15 世纪，德国和意大利最先制成了发射石霰弹、滑膛式榴弹炮。经过几百年的

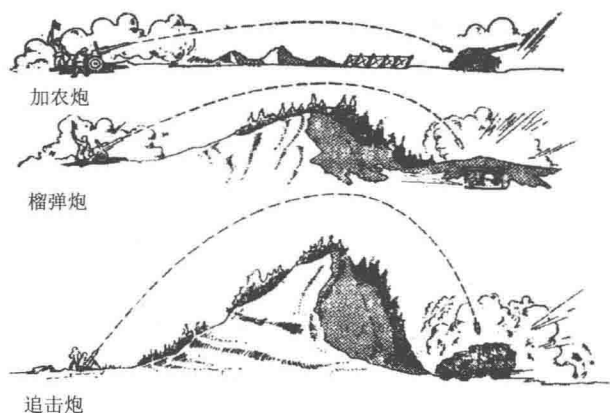


图 3-1-1 火炮弹道性能示意

发展,相继出现了多种不同用途的火炮。按弹道性能的不同,火炮可分为榴弹炮、加农炮和迫击炮(图3-1-1)。

榴弹炮又称野战炮,它是炮兵装备中的主要压制用火炮,也是陆军地面战争中实施进攻和防御的火力支柱。1846年,意大利制成了第一门发射长圆柱形弹丸的线膛榴弹炮。榴弹炮的特点是:弹道比较弯曲、身管长度与口径之比为20~40、弹丸初速小于600 m/s(可改

变发射装药)、发射角小于 75° 、弹丸落角大、杀伤爆破效果好,可发射75~203 mm普通榴弹、火箭增程弹、子母弹、底部排气弹等。近十年来,榴弹炮发射榴弹可达18 km,发射火箭增程弹可达24 km。在现役装备中,陆军为提高大口径榴弹炮的快速机动作战能力,多采用自行式榴弹炮,其余采用牵引式榴弹炮。

加农炮又称平射炮,也属于炮兵装备的主要压制武器,于16世纪中后期间世。这种火炮的特点是:弹道曲线低伸、身管长度与口径之比为40~70、弹丸初速大于700 m/s、发射角小于 45° 、射程远、发射弹种基本与榴弹炮的相同。发射榴弹时,射程达27 km;发射火箭增程弹时,射程可达37 km。目前装备中,既有牵引式加农炮,也有自行式加农炮。

迫击炮是一种伴随步兵、起支援作用的压制兵器。1904年,俄罗斯军队首先使用迫击炮。该炮无膛线,采用炮口装弹,其特点主要有:弹道最弯曲而适宜射击隐蔽目标、弹丸初速小于350 m/s、发射角 $45^\circ\sim 85^\circ$ 、射速20~30发/min,以及装弹容易、质量小、结构简单、操作方便、机动性能好,可发射榴弹、穿甲及破甲弹、子母弹、烟幕及照明弹,其常用口径为51~240 mm、射程达500~8 000 m。奥地利的一种四管120 mm迫击炮射程达到了11.5 km,而南非的一种52 mm迫击炮,射击时声音微弱,炮口无烟、无火焰,射程达700 m。

除上述火炮之外,还有1870年首用、射程达1万米以上、专门射击高中飞行目标的高射炮,在第二次世界大战中发挥巨大作用、射程可达70~100 km、一次齐射可抛出8 000枚子弹、火力密度极大的多管火箭炮,1914年美国首用、结构简单、质量小、携带方便的无后坐炮及有400多年历史的舰炮和岸炮,20世纪初装在飞机上的航空炮,以及20世纪30年代出现的反坦克炮等。

在坦克发展的最初大约25年里,坦克武器——线膛炮的口径比较小,也不是专用的,威力也比较小。1916年,英国首次投入索姆河战役的I型坦克上的57 mm坦克炮,是世界上第一次用于实战的坦克炮,由57 mm舰炮改制而成。第一次世界大战期间,坦克的使命主要是克服堑壕铁丝网障碍、消灭敌步兵、摧毁土木工事和发射点,因而机枪和使用榴弹的火炮是坦克的主要武器,此时的火炮初速较低,为450~550 m/s;口径也小,为37~75 mm。英国“大游民”坦克装有57 mm火炮,法国“圣沙蒙”坦克装有75 mm火炮。

两次世界大战之间,出现了多种形式的坦克。英国发展了巡洋坦克和步兵坦克,巡洋坦克只装了40 mm的坦克炮,步兵坦克没有装备火炮,只配有机枪。而德国则强调坦克的机

动性和火力，其坦克安装了13倍口径的短身管75 mm坦克炮。苏联发展了轻型和中型坦克，轻型坦克安装有45 mm坦克炮，而T-28中型坦克安装了76 mm坦克炮。尽管当时各国已经意识到坦克炮的主要任务是对付坦克，因其口径太小，仍然难以实施反坦克作战。

第二次世界大战促进了坦克炮的发展。最典型的是第二次世界大战中最优秀的T-34坦克，它装备了76 mm加农坦克炮，在当时来说，是坦克炮的一种创新，其威力是德国坦克炮不能相比的。1943年，T-34改用85 mm坦克炮，并配备有超速穿甲弹；苏联还研制并装备了122 mm坦克炮（安装在ИС-2重型坦克上），它是第二次世界大战中参加过实战的口径最大、威力最大的坦克炮。德国在T-IV坦克上把短身管坦克炮换成了口径为75 mm的长身管炮，并于1942年在48倍75 mm坦克炮上首先使用了破甲弹这一新弹种，以加强其反坦克能力。战争后期，德国T-VI“虎式”重型坦克的88 mm线膛炮首先使用了旋转稳定空心装药破甲弹，破甲威力为90 mm。英国和美国分别研制了75 mm、77 mm和90 mm坦克炮。

第二次世界大战后，坦克得到了长足的发展。一般地，坦克火力的发展被放在了优先的位置。战后至今，发展了三代坦克，也发展了三代坦克炮。

战后的第一代坦克炮的典型代表是英国设计的L7系列105 mm线膛坦克炮、苏联的Д-10系列100 mm线膛坦克炮和美国的90 mm坦克炮。大多数西方坦克都装105 mm线膛坦克炮，包括英国的“逊丘伦”坦克、美国的M60式坦克、西德的“豹I”和美国的XM1式坦克。这种炮可以发射旋转稳定式脱壳穿甲弹、榴弹、碎甲弹、烟幕弹及蜂窝式杀伤榴霰弹。

到了20世纪60年代，战后第二代坦克问世。这时，西方许多国家及日本、印度均选用105 mm坦克炮。英国和苏联则不同，英国研制了中等膛压的长身管L11式120 mm线膛炮，并安装在“奇伏坦”坦克上；苏联则首次在坦克上采用滑膛炮，并为T-62坦克研制了高初速、弹道低伸的115 mm滑膛坦克炮。滑膛炮的优点是制造比线膛炮简单，更重要的是，其质量相当小，并能够以很高的初速发射大长径比尾翼稳定式脱壳穿甲弹。当时，传统的线膛炮只能发射长径比不大于5的旋转稳定脱壳穿甲弹。因此，在当时，115 mm坦克炮的威力远远超过了西方105 mm线膛炮及英国L11式120 mm线膛坦克炮。1963—1965年，美国研制了120 mm Delta滑膛炮。德国莱茵麦塔（Rheinmetall）公司于1965年开始着手105 mm和120 mm滑膛炮的研制。1966—1969年，样炮发射试验取得成功。1972年，这两种口径的滑膛炮均被安装在“豹II”主战坦克样车上。随着科学技术的发展，借助滑动弹带技术，线膛炮也能像滑膛炮一样，发射长径比大的杆式尾翼稳定脱壳穿甲弹。

20世纪70年代，装甲防护的加强驱动了战后第三代坦克炮的出现。其中，最为优秀的是苏联的125 mm滑膛炮和德国的120 mm滑膛炮。它们均属于高膛压坦克炮，具有当今世界坦克炮的先进水平。125 mm坦克炮口径较大、身管更长、药室更大，比120 mm坦克炮具有更大的初速，因而具有更大的威力。此外，125 mm坦克炮配备了自动装弹机，实现了弹药的自动装填，这对提高战斗射速是至关重要的。最新式坦克上装备的主炮包括德国RH-120 mm坦克炮、法国120 mm滑膛炮、独联体125 mm滑膛炮和意大利120 mm滑膛炮等。

70年代至今，坦克技术取得了前所未有的飞速发展，一批新型主战坦克相继问世，如德国“豹II”、美国M1、苏联T-80、法国“勒克莱尔”、英国“挑战者”、以色列“梅卡瓦”等。坦克炮也发展到了一个新的水平，主战坦克火炮的口径普遍增至120~125 mm，多数配备了自动装弹机，发射的主要弹种是尾翼稳定脱壳穿甲弹。

对于现代坦克炮的生产，俄罗斯、英国和德国3个国家占统治地位。俄罗斯的滑膛坦克

炮,其口径有 115 mm 和 125 mm 两种,比西方的同类型炮大 10 mm 或 5 mm;英国的线膛坦克炮,其口径有 105 mm 和 120 mm 两种;德国的滑膛坦克炮,其口径为 120 mm。

综上所述,坦克炮按膛线划分,有线膛炮和滑膛炮两种。线膛炮发射的炮弹是利用自身旋转来稳定空中飞行姿态的;滑膛炮发射的炮弹是借助炮弹尾翼产生的低速转动来稳定空中飞行姿态的。目前,仅英国的“挑战者”和印度的“阿琼”主战坦克仍然在使用线膛炮。与线膛炮相比,滑膛炮有以下特点:

① 结构性能好、使用寿命长。因线膛炮加工有膛线,在少量发射后,膛线底部刻槽易出现裂纹。滑膛炮因无膛线而不产生切口应力,内膛表面比线膛炮的小 30%,因而发射热应力也相对比较小,不存在膛线烧蚀问题,膛内阻力小、管壁较厚,身管采用自紧工艺和内膛镀铬后,同等条件下滑膛炮使用寿命为线膛炮的 2 倍。

② 射击精度高。由于线膛炮受发射角、弹丸旋转不稳定、炮口过早磨损等因素的影响,精度会逐渐下降,而滑膛炮射击精度几乎不变。

③ 穿甲能力强,直射距离远。滑膛炮发射破甲弹时,由于弹丸不靠膛线稳定,无离心力对聚能射流的有害影响,因此,可以提高尾翼稳定脱壳穿甲弹的穿甲能力。

④ 生产工艺简单、成本低。滑膛炮因不加工膛线而相应降低了生产成本。

通过近百年的发展,现代坦克火炮一般采用加长身管的加农炮,与其他类型的火炮相比,其性能与结构特点如下:

① 坦克炮威力大。火炮膛压高(有的达 500~700 MPa,甚至更高)、弹丸初速大、弹道低伸、射击精度高、后坐距离短、结构紧凑,因此能远距离穿甲。

② 坦克炮的身管长、质量大。现代坦克炮的炮身属于长身管加农炮类型,加长身管相应延长弹丸膛内运动时间,因此,可以提高其初速。坦克炮身管采用电渣重熔真空冶炼、自紧工艺、内膛镀铬方法制造,身管上有抽气装置并备有隔热护套。

③ 火炮采用稳定装置、装有防危板和自动闭锁器,多数装有自动装弹机。

④ 火炮具有环形射界。

(二) 中国坦克火炮的发展

坦克炮总的发展脉络是火炮口径不断增大,并经历了从线膛炮到滑膛炮的演变。我国在发展坦克炮的历程上也遵循着同样的规律。和中国坦克一样,中国的坦克炮也走过了一条由引进仿制到独立研制的发展道路。

20 世纪 50 年代,中国装甲兵的装备大多是进口的苏式装备。第一个五年计划,中国开始建立自己的坦克工业。1959 年,按苏联 T-54A 坦克的坦克炮图纸生产的 100 mm 线膛坦克炮,装备在第一批 59 式坦克上,同时配置单向稳定器等简易火力控制系统,结束了中国不能生产坦克炮的历史。

60 年代初,中国自行研制了 85 mm 坦克炮。于 1963 年设计定型的 62-85TC 坦克炮,配置在 62 式轻型坦克和 63 式水陆坦克上,其炮身带有抽气装置,解决了原炮射击后战斗室内烟雾过大的问题;用滚针式耳轴代替滑动轴承耳轴,并装有弹簧补偿器,解决了原炮瞄准时抖动的缺点。该炮当时属威力较大的先进坦克炮,可发射定装式榴弹、穿甲弹、微旋破甲弹和碎甲弹,其弹药与苏联 T-34-85 坦克通用。

60 年代中期,根据新一代中型坦克的研制需要,中国研制了 100 mm 滑膛坦克炮。该炮是在 100 mm 线膛坦克炮的基础上研制而成的,并首次安装了双向稳定器。该炮于 1974 年设

计定型,被命名为69式100 mm滑膛坦克炮,其配用的尾翼稳定脱壳穿甲弹、破甲弹、杀伤爆破弹也同步研制。该坦克炮威力在60年代末居当时的先进水平。

70年代初,中国研制了中等膛压的120 mm滑膛坦克炮及其配套弹药;70年代末,中国研制了高膛的120 mm滑膛炮,该炮装备于120 mm自行反坦克炮。

80年代初,中国坦克炮事业研制取得了新进展。在从国外引进的T-72坦克2A46型125 mm大口径滑膛炮基础上,中国开始了国产大威力滑膛坦克炮的研制工作。在那一时期,中国炮钢的冶炼技术有了新的进步,身管自紧、内膛镀铬等新技术的应用,使中国自行研制的125 mm滑膛坦克炮达到了国际先进水平。自动装弹机的配备,能够将坦克乘员减少到3人,这不但提高了射击速度,而且节省了坦克舱内空间。中国目前装备的125 mm滑膛炮主要包括两种型号:第一种装备于96式主战坦克,身管长为48倍口径;第二种则装备于99式主战坦克上,身管长度增加到了50倍口径,进一步提高了威力。

经过几十年的努力,中国在坦克炮领域,完成了由仿制到自行研制的转变、由性能一般到性能优越的发展。现在,中国在坦克炮及其弹药领域,已经跻身于世界先进行列。

二、发射基本原理与构造

(一) 发射基本原理

火炮的作用是赋予弹丸一定的初速和方向。一般称火炮的整个工作过程为火炮的射击过程,而将火炮射击过程中赋予弹丸初速的过程称为火炮的发射过程。

火炮的发射一般是使火药在一端封闭的管形容器(即身管)内燃烧,生成的高温高压燃气膨胀做功,推动被抛射的物体(即弹丸)向另一端未封闭的管口(即膛口)加速运动,并在膛口处获得最大的抛射速度(即初速)。

火炮发射过程如图3-1-2所示,可分为如下几个阶段:

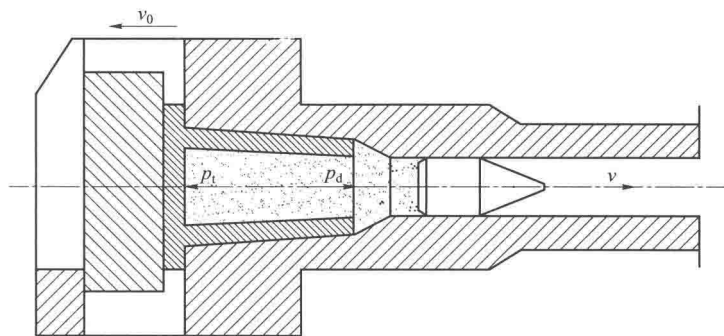


图 3-1-2 火炮弹道性能示意

(1) 点火阶段

火炮发射时,击针撞击底火,引燃比较敏感的点火药(底火),点火药产生的火焰及高温高压燃气接着点燃发射药。

(2) 发射药定容燃烧阶段

发射药被点燃后,生成高温高压火药燃气。在燃气压力不足以推动弹丸运动前,发射药燃烧是在一定容积的药室内进行的。随着发射药不断燃烧,弹丸后面的燃气压力不断升高。

(3) 弹丸加速运动阶段

弹丸后面的燃气压力大到足以推动弹丸运动后，燃气压力推动弹丸向管口加速运动，同时反作用于炮身。弹丸后面的容积随着弹丸运动而增大，发射药燃烧是在容积变化的弹后空间里进行的。变化着的容积对发射药燃烧、燃气生成、压力变化、弹丸运动等规律有直接影响。

(4) 火药燃气后效作用阶段

弹丸运动出管口后，火药燃气高速从管口喷出，一方面继续对弹丸产生作用，另一方面继续对炮身产生作用。

在火药燃气作用完毕之后，弹丸依靠所达到的初速，在空中借助惯性飞向预定目标。弹丸在空中飞行的速度和方向受重力、空气阻力及气候等诸多因素影响而不断变化，因此，弹丸是按一定的概率分布规律到达预定目标的。

火炮发射过程是一个能量转化过程。火炮依赖的能源是火药，火药是一种含能化学材料。火药燃烧后，在容器内生成有一定温度和压力的火药燃气，这一过程中化学能转化为热能。火药燃气在膛内膨胀，推动弹丸飞出膛口，实现了由热能向动能的转化，即将有一定质量的弹丸从静止状态加速到以一定的线速度和回转速度飞出膛口（滑膛炮没有或只有极低的回转速度）。

弹丸由炮口飞出后，其重心在空中所经过的路线称为弹道。弹道的各部名称如下（图 3-1-3）：

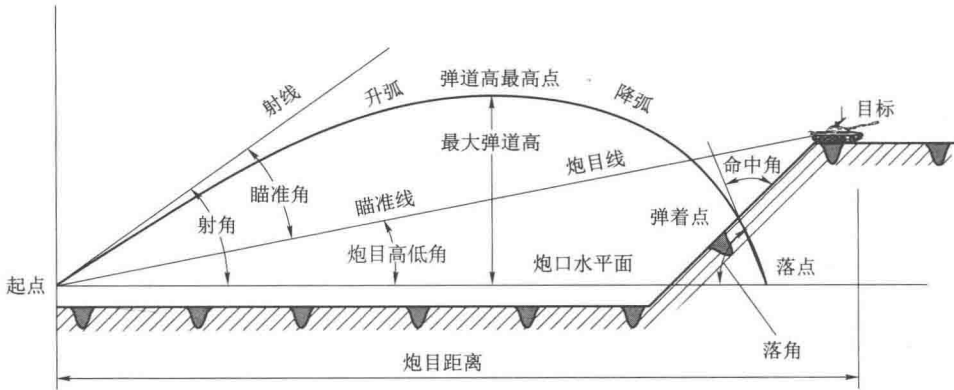


图 3-1-3 火炮弹道性能示意

起点——弹丸底部脱离炮口瞬间其重心所在的位置，通常将炮口端面中心当作火炮起点。

炮口水平面——通过炮口端面中心的水平面。

射线——火炮瞄准后炮身轴线的延长线。

炮目线——炮口与目标的连线，此线可看作是靶接瞄准射击时的瞄准线。

瞄准线——由观察者的眼睛起，通过瞄准指标顶端到瞄准点的直线。

瞄准角——射线与炮目线的夹角。

射角——射线和炮口水平面的夹角。

炮目高低角——炮目线与炮口水平面的夹角。

弹着点——弹道与命中物相交的点。

命中角——弹着点的弹道切线和命中物体表面所夹的锐角，命中角和着角互为余角。

落点——弹道与炮口水平面的第二交点（第一交点为起点）。

落角——落点的弹道切线和炮口水平面所夹的锐角。

弹道最高点——弹道上距炮口水平面最高的点。

最大弹道高——弹道最高点至炮口水平面的距离。

升弧——由起点至弹道最高点的一段弹道。

降弧——由弹道最高点至落点或弹着点的一段弹道。

由于飞行过程中受重力、风力、空气阻力等作用，弹丸的弹道不是抛物线。大气中弹道的特点是弹道不对称，降弧比升弧短而弯曲，弹道最高点距落点较近，且落角大于射角。

为了使弹丸在大气中稳定飞行，一般采用两种稳定方法：

- ① 线膛炮发射的炮弹依靠弹丸飞离炮口前通过膛线获得的自身旋转来稳定飞行姿态；
- ② 滑膛炮发射的炮弹依靠弹丸的尾翼来稳定飞行姿态。

（二）构造

坦克炮的结构基本相同，以我国现在主要装备的 125 mm 滑膛炮来介绍坦克炮的构造。

该坦克炮主要由炮身、热护套、带半自动装置的炮门、摇架、耳轴、防危板、高低水准器、反后坐装置、高低机、抛壳机、工具附件等部分组成（图 3-1-4）。

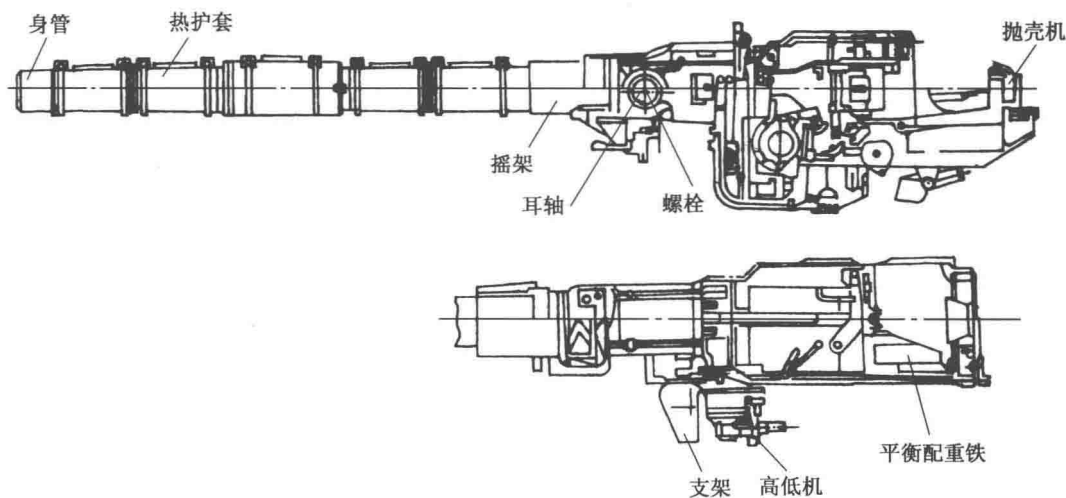


图 3-1-4 125 mm 坦克炮

1. 炮身

（1）功用

在火药气体的作用下，炮身赋予弹丸在身管内的运动速度和方向，以保持弹丸飞行时的稳定。

（2）构造

炮身由身管、抽气装置、炮尾和连接筒组成（图 3-1-5）。

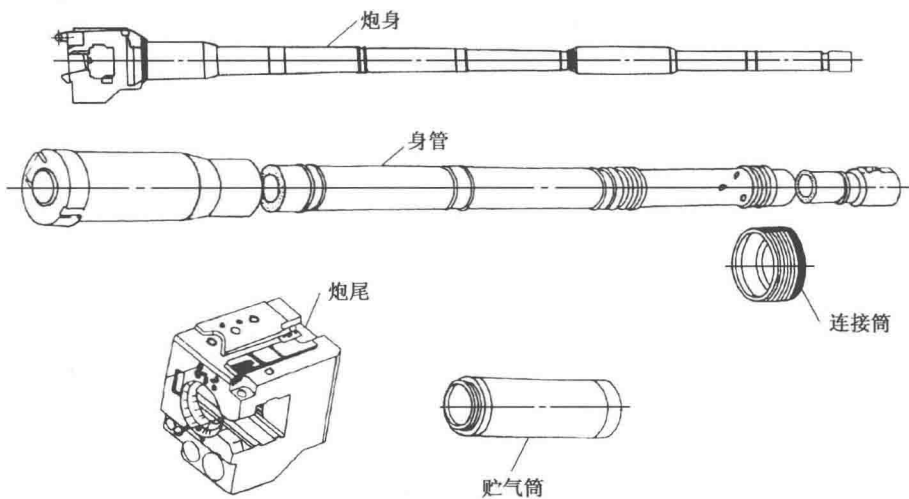


图 3-1-5 炮身

1) 身管

该坦克炮的身管采用高强度炮钢、先进的液压自紧工艺处理、内膛表面镀铬方法制造。身管内分为药室和直膛两部分（图 3-1-6），中间以坡膛连接。药室用于装填炮弹，直膛用于赋予弹丸速度和方向。身管后端凸缘上有键槽，连接筒和键与炮尾连接，防止身管前后移动和转动。身管后部的圆柱部分装在摇架内，射击时这部分可以沿着摇架内青铜衬瓦滑动。身管前端面上（即炮口）刻有的十字线用于校正瞄准零线时使用。

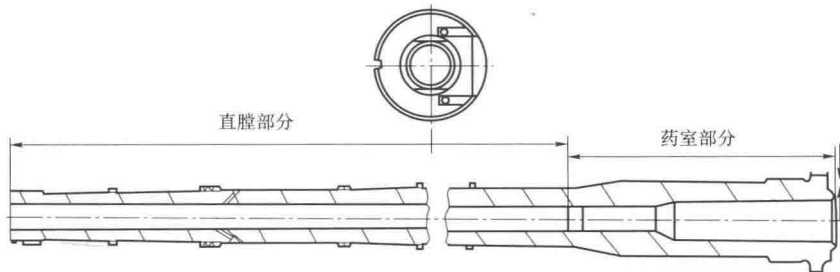


图 3-1-6 身管

2) 炮尾

炮尾用来安装炮闩各零件、固定半自动装置、连接身管和反后坐装置的制退杆、复进杆、吊升座等。中部的闩体室供闩体开、关门时左右移动。吊杆座用于行军时使用吊杆和插销来固定火炮。冲爪用于推动后坐指示器。游标用来指示火炮的后坐距离。检查座用于校正水准器时，放置水准仪。此外，炮尾上还有安装机杆、复进机杆的两个孔及防止炮身转动的导向板槽等（图 3-1-7）。

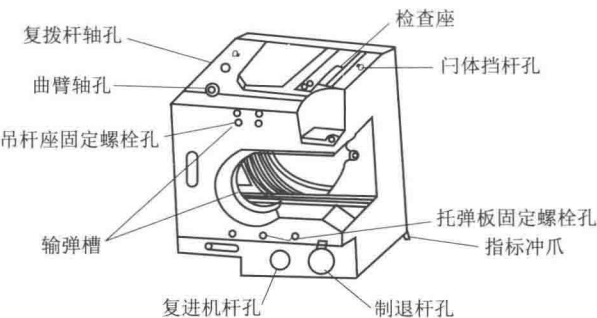


图 3-1-7 炮尾

3) 连接筒

连接筒在身管装入炮尾后，用其外螺纹拧入炮尾而将身管固定，并使用驻板卡在螺纹末端齿槽内防松。

4) 抽气装置

抽气装置的作用是抽出火炮发射时残留在身管内的火药气体，防止火炮开闩时火药气进入车内，减少战斗室内有害气体对乘员的伤害和避免炮尾焰的产生；同时迅速扩散炮口前火药气体，以避免影响对战场的观察。

抽气装置位于身管中部，由贮气筒、固定螺帽、半圆衬环、高低键、驻齿、螺塞、平衡圈及压紧螺钉等组成（图 3-1-8）。贮气筒为同心式结构，身管上加工有八个向前倾斜的喷气孔。

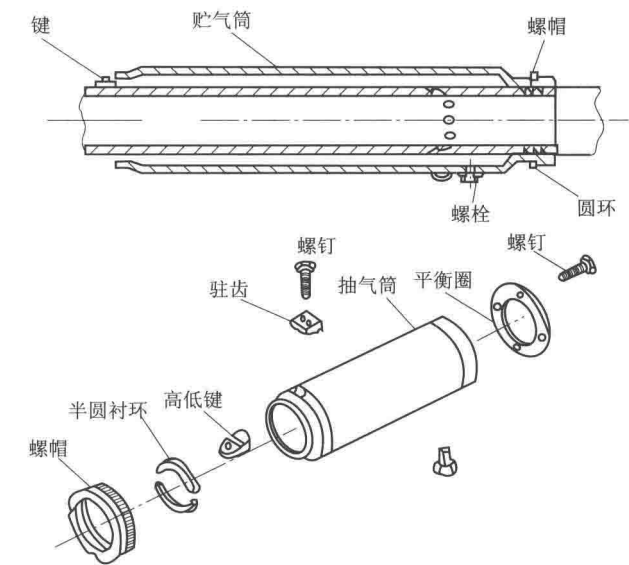


图 3-1-8 抽气装置

抽气装置工作原理如图 3-1-9 所示，当火炮发射的弹丸经过喷气孔时，部分高压火药气体经斜孔进入贮气筒，使贮气筒内气压升高；当弹丸飞出炮口后，膛内压力急速下降，这时贮气筒内高压火药气便由八个喷孔向外冲击，并在喷孔出口的后方形形成低压区，从而将炮膛内残存的发射气体排出火炮外。

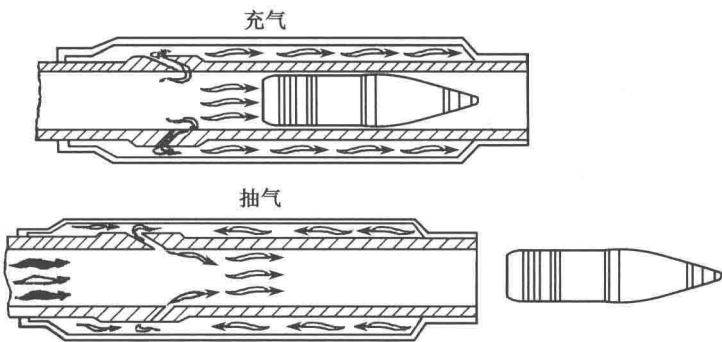


图 3-1-9 抽气装置工作原理

2. 热护套

(1) 功用

热护套的作用是减小由于发射弹丸和阳光照射、雨雪、风吹等外界因素变化产生的热量分布不均引起的身管弯曲变形，从而提高火炮射击时的命中率。

(2) 构造

热护套由内有非金属隔热层的双层铝板及卡紧槽、钢带、螺栓等组成（图 3-1-10）。热护套双层铝板由五段组成，每段有硅橡胶支垫，由钢带卡箍固定在身管外表面的凸台上，上方有用螺钉固定的突缘，下方有漏水孔。

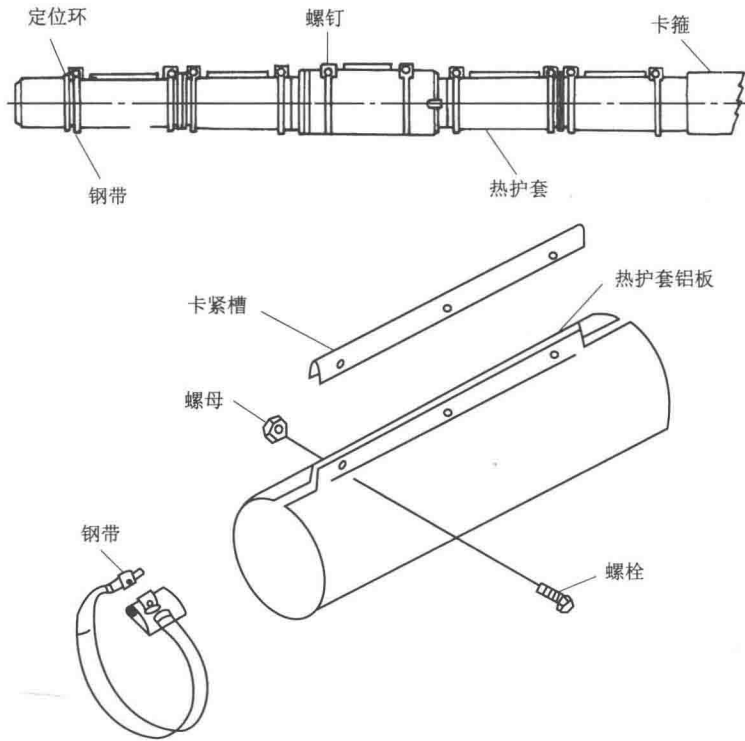


图 3-1-10 热护套

3. 带半自动装置炮闩

(1) 功用

炮闩用于在发射时闭锁炮膛、击发炮弹底火和发射后抽出药筒。

(2) 构造

炮闩构造如图 3-1-11 所示，由闭锁装置、击发装置、发射装置、保险装置、复拨器、半自动开关门装置、抽筒装置或装弹盘总成几部分组成。

1) 闭锁装置

闭锁装置的作用是在发射时闭锁炮膛，它由闩体、开闩柄、曲臂轴、曲臂和闩体挡杆组成。

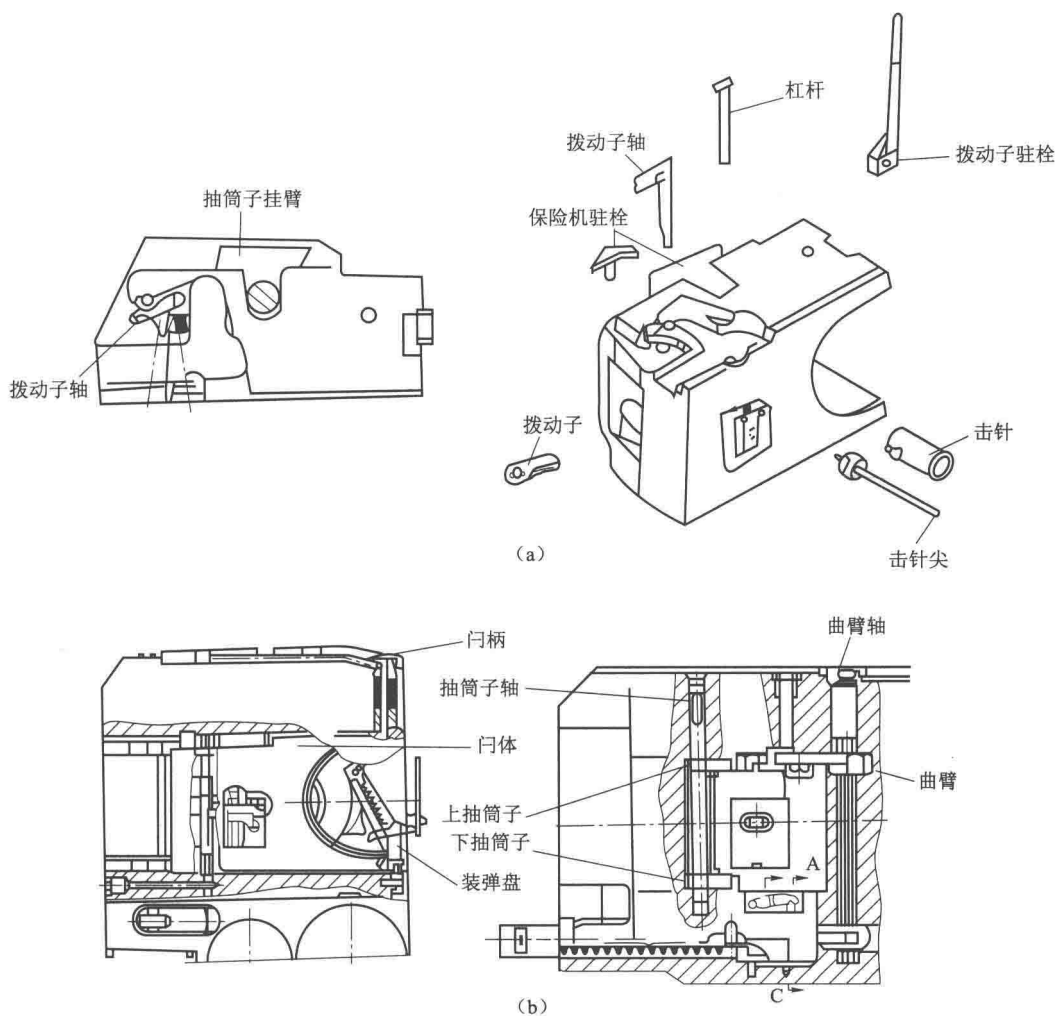


图 3-1-11 炮门

2) 击发装置

击发装置用来击发炮弹药筒底火，它由击针、击针弹簧、击针盖、拨动子、拨动子轴、驻栓、杠杆、顶铁、炮尾触点等组成，同时还装有电动、手动发射转换闭锁装置。

3) 发射装置

发射装置用于实施发射，它由电动点火发射和机械发射两套机构组成。机械发射又分为两种形式：在电点火发射接通的同时接通电磁驱动机械击发装置进行补充发射，以及在断电时的手按机械发射。

4) 保险装置

保险装置用于防止击针自行击发或闭体未关闭到位的过早击发。

5) 复拨器

复拨器用来在击发不发火时，在不打开炮门的情况下将击发装置拨回待击发状态。

6) 半自动开关闭装置

半自动开关闭装置的作用是在装弹后自动关门、发射后自动打开门。

7) 抽筒装置

抽筒装置的作用是在发射后将弹底壳抽出，并使闩体呈开门状态。

8) 装弹盘总成

装弹盘总成用于防止装弹时炮弹和主药筒从闩体凹槽滑下或者撞击身管端面及下筒子爪。

4. 摇架

(1) 功用

摇架用来固定炮身后坐装置等构件，为炮身后坐与复进时提供运动方向，同时配合高低机赋予炮身高低射角，以及通过耳轴将火炮装在炮塔上。

(2) 构造

摇架由摇架本体、左右耳轴孔、机枪支座、齿弧支承板、高低齿弧、防转键、缓冲垫、油管等组成（图 3-1-12）。

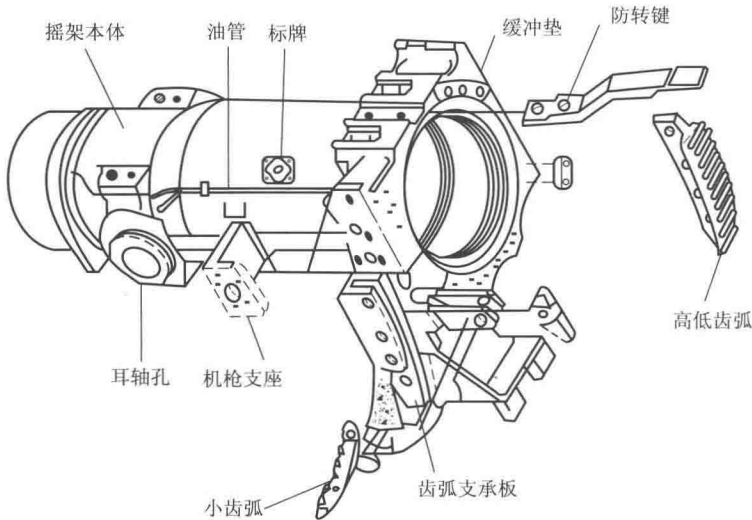


图 3-1-12 摇架

筒形铸钢摇架左侧焊有瞄准镜支架，用于固定高低机齿弧，该齿弧使火炮的起落部分与手摇高低级的齿弧相连接，其下方另有一齿弧与装填角引导装置齿轮啮合。摇架下突起部上

两孔用于固定制退杆和复进杆。突起部上焊有带孔支架，用于安装稳定器、动力油缸和活塞杆。摇架上部纵槽内的防转键，用于防止炮身运动时可能发生的旋转。摇架右侧焊有并列机枪支架。摇架前部两侧的耳轴室，插入装有滚针轴承的耳轴，再用螺栓安装在火炮支架上。另外，摇架上还有固定防盾、防危板等座孔。

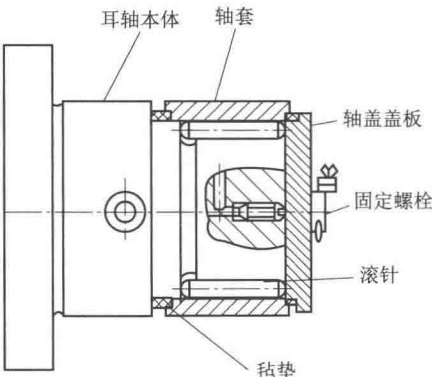


图 3-1-13 耳轴

5. 耳轴

耳轴是火炮射击俯仰的回转中心，用来将火炮安装在炮塔内。结构上，耳轴由耳轴本体、滚针、轴套、垫圈、盖板和固定螺栓等组成（图 3-1-13）。

6. 防危板

防危板用来在射击时保护乘员的安全,结构上由左、右防危板和座板组成(图 3-1-14)。

左侧防危板焊接着支环,支环内安装关门装置和复拨器共用的轴。下部装有手发射装置的握把,上部安装高低水准器的支架,内侧有复进机液量检查表。

右侧防危板的前部有定位套,可借助电动机闭锁器将火炮闭锁在装填角上。在防危板的底座上装有电发射装置、机械发射装置、平衡配重铁和焊接有用来安装底壳抛出机构减速器的支架。右侧防危板有后坐指示器和手发射装置的闭锁器。左右板的下部都焊有法兰盘,用来安装推炮装置。

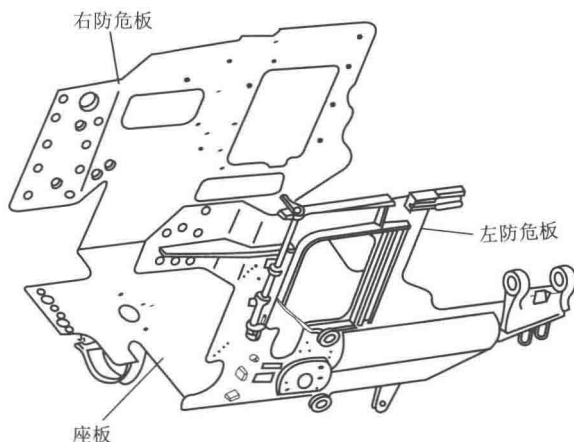


图 3-1-14 防危板

7. 高低机

(1) 功用

高低机以手动操作方式赋予火炮和并列机枪一定的高低射角 ($-4^{\circ} \sim +13^{\circ}$)。

(2) 构造

高低机固定在火炮左支架上,由蜗轮箱、传动装置、保险离合器、解脱装置等部分组成(图 3-1-15)。

1) 蜗轮箱

蜗轮箱用来接合高低机零件,其箱盖和箱体中间孔压有衬套,蜗杆室内装有调整蜗杆轴向间隙的调整螺帽。

2) 传动装置

传动装置由转轮、蜗杆、蜗杆轴、蜗轮、高低齿轮及轴和高低齿弧等组成。转轮和蜗杆分别用键固定在蜗杆轴上。蜗轮通过保险离合器与高低齿轮轴连接在一起。高低齿轮与固定在摇架上的高低齿弧相啮合。

3) 解脱装置

解脱装置由偏心套筒和解脱子组成,用于手动瞄准转为稳定器瞄准时,使蜗杆和蜗轮分离。偏心套筒的偏心孔内装有蜗杆和蜗轮轴,后端装有解脱子、定位销和解脱子压杆。当手控瞄准时,解脱子在水平位置,动力经蜗杆、蜗轮、摩擦锥体传到高低齿轮、高低齿弧,使火炮绕耳轴俯仰;当使用火控瞄准时,解脱子在垂直位置,偏心套筒使蜗杆、蜗轮分离。

4) 保险离合器

保险离合器由摩擦锥体、碟形弹簧、支承盘、紧定套筒和紧定螺帽组成。在坦克运动而使火炮剧烈震动时,冲击力矩经高低齿弧传到高低齿轮轴上。当该力矩值超过保险离合器装配力矩时,摩擦锥体与高低齿轮轴之间将产生相对滑动,避免传动过载。

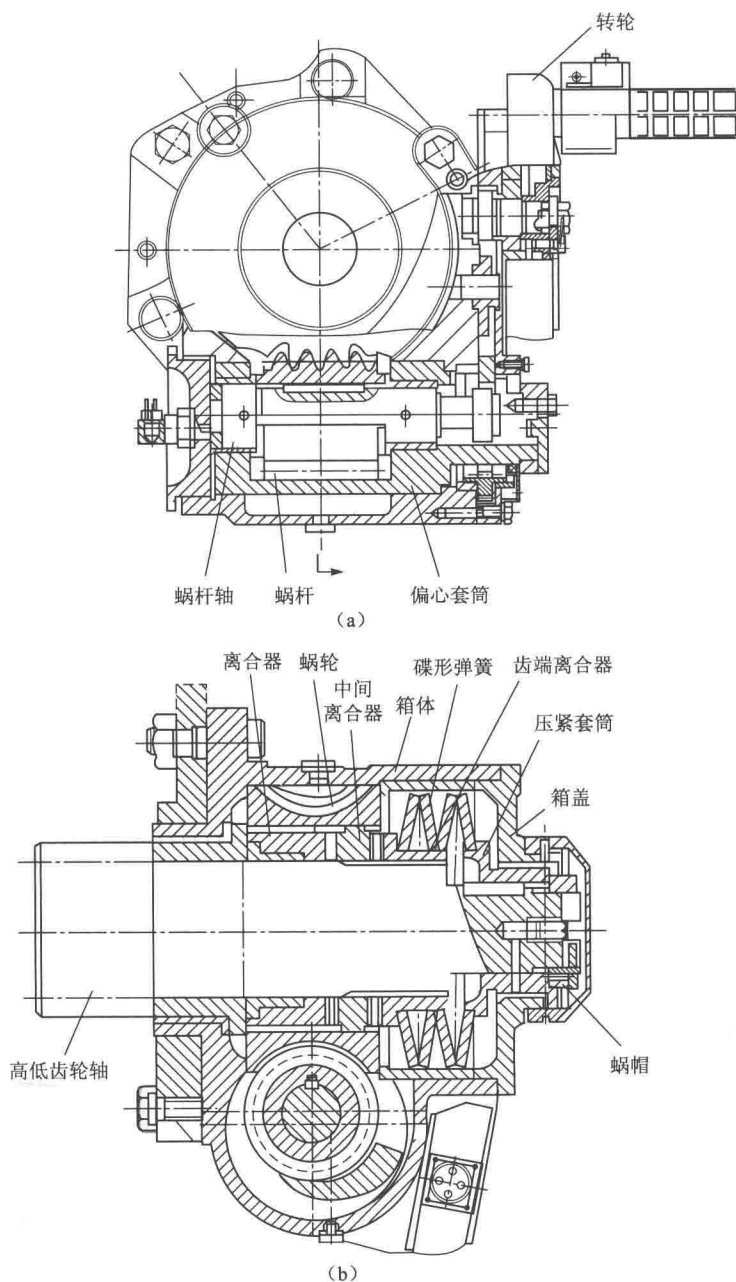


图 3-1-15 高低机

8. 高低水准器

(1) 功用

高低水准器用来在间接瞄准时装定射角或在检测火炮时装定规定的仰俯角。

(2) 构造

高低水准器用两个螺钉安装在左侧防危板上，外形如图 3-1-16 所示，结构上由本体、水准器座、补助分划环、水准气泡玻璃管等组成。

本体上面刻有 27~38 共 12 个分划，每一分划对应角度值为 100 mil。密位是坦克射击常用的测量角度单位。将圆周分为 6 000 等份，每一等份的弧长所对应的圆心角叫 1 mil，即一个圆角等于 6 000 mil。

在本体后端固定有辅助分划的指标。

水准器座与蜗轮连在一起，其端面装着刻有本分划指标的水准器气泡玻璃管。

辅助分划环用螺钉固定在转轮上，环周径上刻有 100 mil 分划，即转轮转动一周等于本体上本分划移动一个分划。

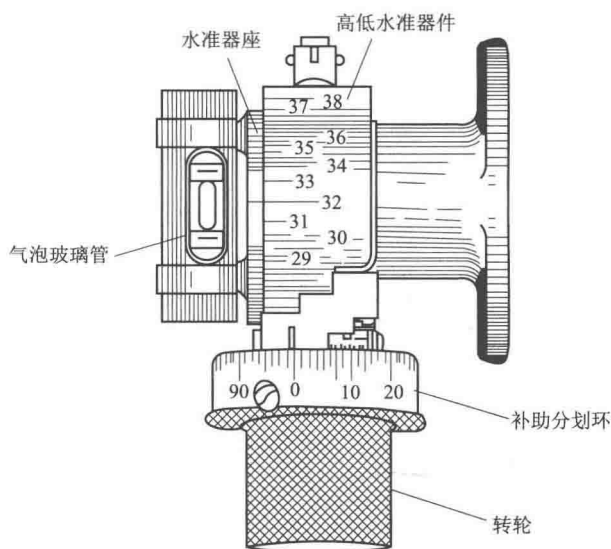


图 3-1-16 高低水准器

水准气泡玻璃管内装甲醇或乙醚液体。气泡位于两边刻线之间。玻璃管上刻线间隔为 2 mm，气泡移动一格相应角度约为 1 mil。

另外，在高低水准器中，还设计有消除空回机构。该机构采用了一个扭簧使蜗轮与蜗杆的轮齿单向接触，并在蜗杆前端加装弹性垫圈，以提高指示精度。

9. 反后坐装置

(1) 功用

反后坐装置用于消耗火炮发射时绝大部分后坐动能，使火炮后坐控制在一定长度范围内，后坐结束后再平稳回复到原位，并能在规定范围的俯仰角上支撑后坐部分与前方位置，保证火炮正常工作。

(2) 构造

反后坐装置由制退机和复进机组成。制退筒和复进筒固定在摇架下反后坐装置连接座内，前端借固定耳语连接座内的环形槽连接；制退杆和复进杆固定在炮尾上。

1) 制退机

制退机用于消耗火炮发射时绝大部分后坐功能，使火炮后坐控制在一定长度范围内，保证火炮复进平稳。

制退机由制退机筒、制退杆、节制杆及调节装置等组成（图 3-1-17）。

制退机筒固定在摇架右侧，前端装有前盖，由紧塞器紧压螺帽紧固。制退机筒内装有火炮制退液。制退杆为一空心杆，后端用螺帽固定在炮尾上，前端是有六个斜孔的活塞，活塞内装节制环，制退杆内有两深两浅的导液沟槽。节制杆为一直径不等的金属杆，装在制退杆内，前端固定在制退筒前盖上，后端有八个斜孔的调速筒，筒后还有比制退杆内径略小、能前后移动的活瓣。紧塞装置用来密闭制退筒内的制退液，由紧塞器、紧塞本体和紧塞螺帽组成。

火炮发射后坐时，制退筒随炮身向后移动。筒内大部分液体经活塞斜孔、节制孔流到制退筒前部，小部分液体经节制杆和制退杆间隙、调速筒斜孔、活瓣充满制退杆后

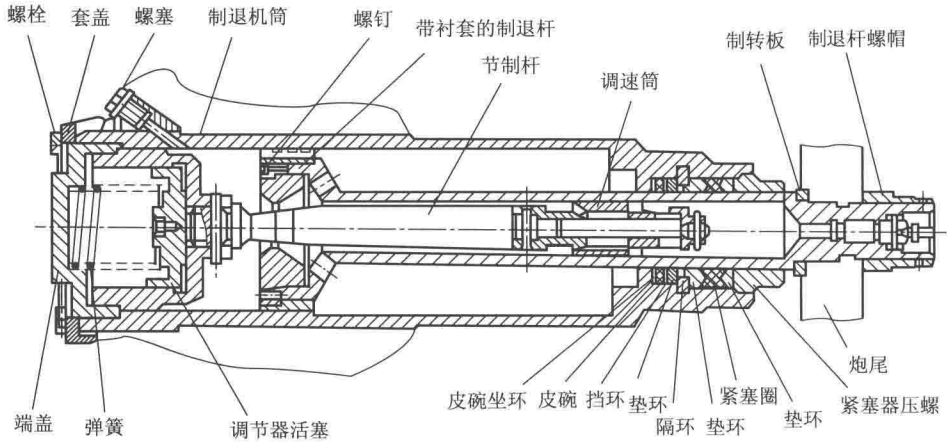


图 3-1-17 制退机

腔。后坐动能绝大部分消耗在液体流经间隙所产生的阻力上。变直径的节制杆主要用于调节后坐过程中的过流阻力大小。复进时，制退筒随炮身向前运动，制退杆后腔液体只能经制退杆上四条导液坡槽流回前腔，因此产生阻力，减缓了复进速度，使炮尾不至于以高速撞击摇架。

2) 复进机

复进机的作用是使后坐部分在任何仰角位置上都能平稳回到原位。

复进机主要由外筒、内筒、复进杆和密封装置等组成（图 3-1-18）。外筒固定在摇架左侧，并充有高压氮气；内筒内有制退液，前端拧在前盖上，后端拧在后盖的支臂上。内外筒之间有过液孔。复进杆位于内筒内，前端有活塞，后端固定在炮尾上。紧塞装置用来密闭内筒中的氮气和制退液，由紧塞器、紧塞本体和紧塞螺帽组成。

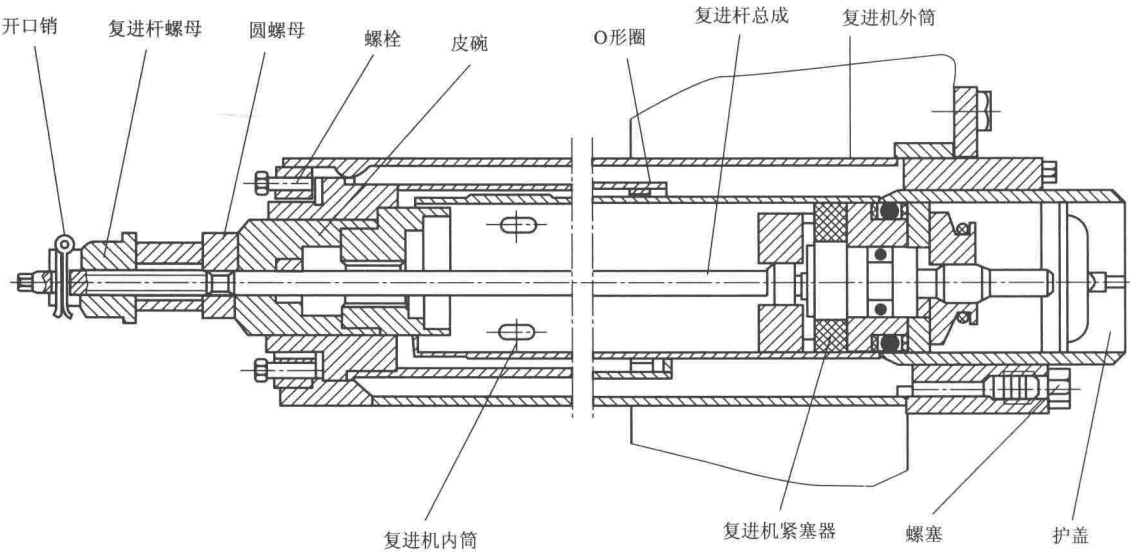


图 3-1-18 复进机

后坐时,复进筒随炮身向后运动,内筒液体经内外筒间通液孔流入外筒并压缩外筒内氮气,使其压力升高而储备复进能量;后坐终止后,外筒气体膨胀,又将外筒中液体经通液孔压回内筒,同时,推动活塞向前,使复进筒带动火炮后坐部分回到最前位置。

三、坦克炮的发展趋势

目前,世界上主战坦克炮的发展主要有以下几种途径。

(一) 改进现有火炮

许多具有先进技术的坦克生产大国都对第三代主战坦克上使用的火炮进行了技术改造,这些措施包括:采用性能更好的高屈服强度火炮材料制造身管和炮尾,适当增大火炮身管长度,改善火炮动态特性,提高发射药效能或者增大装药量,增大发射膛压、减小身管磨损和采用新工艺制造等。当前广泛采用的电渣重熔真空冶炼、自紧工艺、内膛镀铬等方法显著提高了身管的使用膛压和寿命。例如,俄罗斯 T-62 坦克身管经普通处理后工作膛压为 294 MPa,而德国“豹 II”坦克身管经自紧工艺处理后工作膛压达 547 MPa。

(二) 增大口径

随着坦克防护系统的发展,专家们提出并开始研制 135~145 mm 坦克炮,资料显示这种口径的坦克炮已在几个国家进入实用阶段。火炮口径增大后,能提高弹丸的初速和穿甲能力,但会造成坦克总质量的增加而制约其火力和机动性,同时,也会引发后坐力、稳定性、弹药装填、射击速率、炮弹存放和乘员疲劳等一系列问题。这也是目前这类火炮仅作为技术储备而没有安装在主战坦克上的主要原因。

(三) 新概念火炮

常规火炮是以固体发射药为发射能源,利用火药在管形内膛燃烧所产生的高温高压燃气膨胀做功,从而发射弹丸。目前,常规火炮在进一步提高射程、射速、机动性、生存能力和后勤支援能力等综合性能方面,遇到很大困难,主要有下面几种情况。

① 为提高弹丸初速,常规火炮主要是通过增加装药量来实现。由于高能固体发射药的爆温高(2 500~3 000 K),增加装药量意味着高膛压、大后坐力,由此带来火炮的强度下降、体积和质量增大、机动性下降,以及身管烧蚀严重、寿命降低等问题;而高装填密度将伴随着危险压力波的威胁,甚至可能出现炸膛等灾难性事故。

② 由于火药燃气膨胀速度受到发射药特性的限制,炮膛压力充满度系数小,尤其是高速情况下,能量利用率低,所以弹丸的初速受到限制,即弹丸初速存在一个理论上的极限值。通常弹丸的速度不会超过火药燃气的滞止声速(一般小于声速的 5%)。

③ 随着威力的提高,火炮的体积和质量急剧增大,即威力与机动性之间存在尖锐的矛盾。

④ 固体发射药的易毁性和易损性,是常规火炮系统的薄弱环节。

常规火炮在其发展中遇到难以克服的困难,促使人们另辟蹊径、突破概念,去探索和寻找新的发射能源、发射原理、发射方式,以解脱常规火炮发展所面临的困境。

新概念火炮永远是一个热门话题,尽管新概念火炮的概念至今尚没有科学、统一的定义,但这一概念在国内的使用频率很高。人们通常习惯把运用新原理、新能源、新结构、新材料、新工艺、新设计而推出的,有别于传统火炮系统概念并可大幅度提高作战效能的新式火炮,统

称为新概念火炮。它既包括突破传统火炮系统概念的创新,也包括在现有制式火炮基础上利用现代高新技术与总体优化技术进行改造而使火炮性能大幅度提高所取得的创新和突破。

目前出现的新概念火炮主要有轻气炮、随行装药火炮、液体发射药火炮、电磁炮、电热炮、激光炮,以及超高速火炮和超远程火炮等。

1. 轻气炮

提高初速是火炮技术永恒的主题。对压制火炮而言,提高初速可以增加射程、增强火力灵活性;对反坦克炮而言,提高初速可以增加直射距离、提高穿透深度、提高穿甲威力。

传统火炮的发射过程中,火药在膛底燃烧,弹丸依靠弹底压力推动。由于燃气分子存在惯性,形成弹后压力梯度,理论上存在初速极限。这个弹丸初速极限是由火药气体相对分子质量太大造成的。火药燃气有很大一部分能量用来加速火药燃气本身,因此用来加速弹丸的能量就减少了。即使非常轻的弹丸所能获得的最大速度也是比较低的。提高初速极限是进一步提高火炮弹丸初速的主要技术途径之一,而利用轻质发射气体,有效减小发射气体相对分子质量是提高初速极限的主要措施。

轻气炮采用轻质工质(如惰性气体等)来推动弹丸,以达到提高初速的目的。

(1) 一级轻气炮

一级轻气炮利用非反应轻质气体(如被压缩的氢气或氦气)作为发射工质。弹丸被压制运动直到压力达到预定启动压力,当弹丸运动时,弹后压力随着弹丸沿身管运动而下降,直至弹丸以初速飞出炮口。

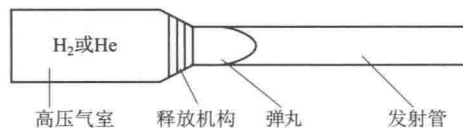


图 3-1-19 典型一级轻气炮结构示意图

典型一级轻气炮主要由弹丸、发射管、高压气室和释放机构等组成(图 3-1-19)。轻气炮主体的高压气室内装有气体释放机构,弹丸装在气室与发射管之间。发射前,首先对气室抽真空,其次再接通高压气源向气室注气到指定压力;发射时,通过释放机构的

快速打开,气体压力直接作用到弹丸底部,弹丸被加速直到飞出炮口。

一级轻气炮结构简单,但是弹丸初速不高。在要求弹丸初速不是很高的情况下,一级轻气炮主要作为试验装置使用。1946 年,美国研制成功第一门利用轻质气体作为工作介质的一级轻气炮。

(2) 逐级加速轻气炮

一级轻气炮的弹丸加速过程中,弹丸后的容积不断增加,气体膨胀作用在弹底的驱动气体压力不断下降,弹丸难以达到更高的速度。

二级轻气炮由压缩级和发射级组成(图 3-1-20)。采用轻质工质来推动弹丸,采用压力逐级放大方法,第一级里的储能气体推动活塞压缩第二级里的轻质气体,第二级里的轻质气体再加速弹丸。只要身管足够长,就可以将弹丸加速到足够高的速度。二级轻气炮通常用火炮的火药燃烧气体作为第一级的驱动气体,即固体火药点火之后,二级轻气炮就开始工作了。当火药产生的压力超过某一压力值时,膜片(1)破裂,大质量的活塞以较低的平稳的速度压缩泵管内预先充入的轻质气体,使其压力和温度不断上升;泵管内膜片(2)在其左

端压力达某预定值时破裂，高压气体驱动弹丸开始运动；弹丸加速运动过程中，活塞仍然不断地压缩轻质气体，使作用到弹丸底部的气体压力有一短暂的等底压阶段，弹丸以匀加速方式获得高速度；当弹丸初速进一步提高时，后部活塞压缩程度有所下降，直到停止。此后弹丸在发射管内以一级轻气炮的方式继续加速，直到飞出炮口。

1948 年，美国新墨西哥州矿业学校第一次成功地完成了二级轻气炮的发射，将一个轻质球加速到 4.3 km/s。美国劳伦斯-利弗莫尔国家实验室进行的 SHARP 超高速研究计划，已完成 1.5 kg 弹丸质量、6 km/s 出口速度的试验。

1994 年，英国研制的 96 倍口径 80 mm 轻气炮，初速达 11 300 m/s。

(3) 燃烧轻气炮

燃烧轻气炮是一种利用低相对分子质量的可燃混合气燃烧膨胀做功的方式来推进弹丸，使之获得较高速度的发射系统。燃烧轻气炮使用两种或多种反应气体，如可燃轻质气体（通常为氢气）和氧化剂气体（通常为氧气），代替普通火炮的发射药。可燃轻质气体和氧化剂气体在压力作用下按给定配比进入燃烧室合成为混合气体。发射时，混合气体被点燃后形成高温高压轻质燃气，推动弹丸在炮膛内运动。由于燃气轻质，弹底与膛底的压力降小，膛内声速大。当身管足够长时，便可以获得足够大的弹丸初速。

燃烧轻气炮一般由发射药（液态或近液态可燃轻质气体和氧化剂气体）供给系统和发射系统构成。低温发射药供给系统包括氢气罐、氧气罐、压力泵、高压存储器、流量计、供给管道及冷却系统等单元（图 3-1-21）；发射系统包括弹丸装填系统、发射管（包括身管、燃烧室炮尾、炮门等）、点火系统和弹丸等。

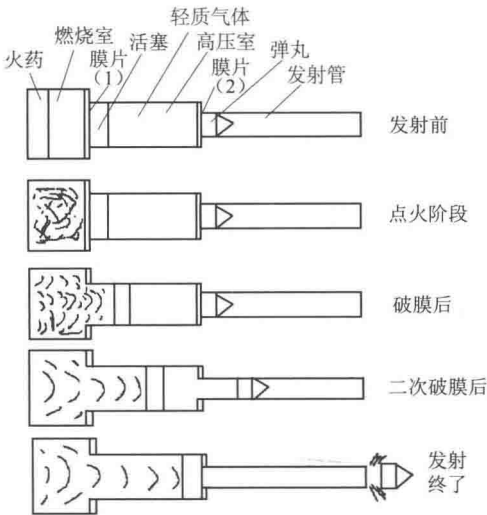


图 3-1-20 二级轻气炮工作原理

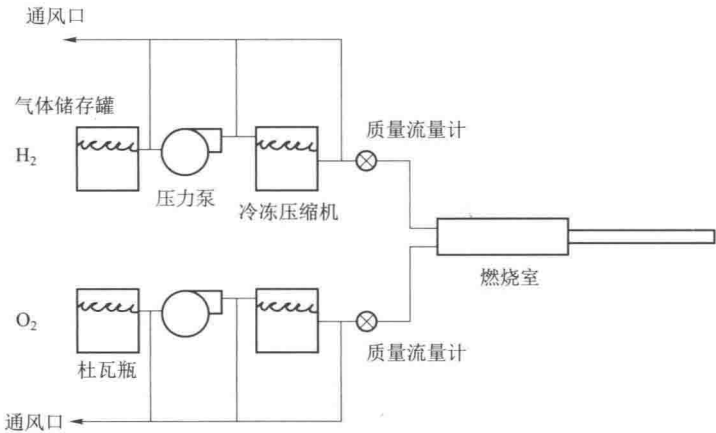


图 3-1-21 燃烧轻气炮工作原理

燃烧轻气炮具有高初速、远射程、炮膛烧蚀小的特点，并且可以无级改变初速。

燃烧轻气炮技术已有 10 年的研究历史，其概念首先是由美国基于“远程纵深精确打击”战略战术思想而提出的。美国 GT 公司和通用动力公司最先进行 16 mm 燃烧轻气炮的研究。16 mm 燃烧轻气炮是在 16 mm 电热轻气炮项目的基础上发展而来的。使用氢、氧、氦混合气体发射 2 g 弹丸的初速为 4 200 m/s，而使用甲烷、氧、氦混合气体发射弹丸的初速为 3 800 m/s。

美国 UTRON 公司已建成车载 45 mm 燃烧轻气炮，其炮膛和身管位于炮架上，炮架上有两台吸振器可减小后坐；身管内径为 45 mm，药室容积为 5 L，身管长为 4.5 m（100 倍口径）；火炮的最大设计膛压是 617 MPa。车载 45 mm 燃烧轻气炮已在美国陆军阿伯丁靶场进行了 71 次射击试验，采用 100 倍口径身管，发射 1.1 kg 弹丸的炮口初速为 1 700 m/s；发射 0.544 kg 弹丸的炮口初速达到 2 100 m/s。

UTRON 公司还在 2007 年进行了 155 mm 轻气炮射击试验。155 mm 燃烧轻气炮，采用 70 倍口径身管发射的质量为 15 kg 的弹丸，初速超过 2 000 m/s。

2. 随行装药火炮

为了克服常规火炮发射时火药燃气运动带来的弹后压力降低和膛压变化大的缺点，同时提高火炮初速，随行装药火炮被研制出来，它将部分发射药装填在炮弹的尾部，点火后，随着弹

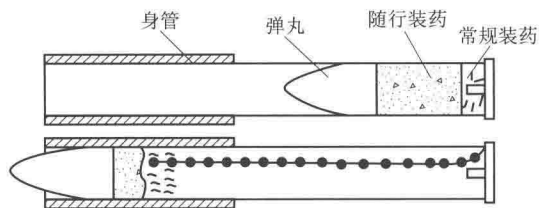


图 3-1-22 随行装药火炮工作原理

丸一起运动的弹后发射药不断燃烧，产生火药燃气，从而减少弹后压力降低和膛压变化，并利用火药燃气压力推动弹丸。要使弹丸获得高速，在不增加身管长度时，采用合理控制火药燃气生成速率的方法，来提高膛压曲线充满度（图 3-1-22），这就要求火药的燃烧速率应该满足速燃要

求。随行装药火炮的特点是可以获得较大初速，但有效质量小。

3. 液体发射药火炮

目前，火炮用的发射药都是固体火药。弹丸和发射药组装在一起称为炮弹。固体发射药是一种具有固定形状、燃烧速度很快、均相化学物质，而液体发射药是一种没有固定形状、燃烧速度很快的化学物质。液体发射药可分为单元液体发射药和二元液体发射药。单元液体发射药为均相化学物质，而二元液体发射药为氧化剂和燃烧剂两种成分的混合物。单元液体发射药只有在一定的压力和温度环境下才能着火，并且必须设置点火装置进行点火。二元液体发射药又分为自燃型和非自燃型，非自燃型二元液体发射药的氧化剂和燃烧剂两种成分接触时反应很慢，也必须设置点火装置进行点火；而自燃型二元液体发射药的氧化剂和燃烧剂两种成分一接触就立即着火。

液体发射药火炮是使用液体发射药作为发射能源的火炮。发射药与弹丸平时可以分开保存，发射时同时装填。研制中的液体发射药火炮有整装式、外喷式和再生式三种形式。

（1）整装式液体发射药火炮

整装式液体发射药火炮（图 3-1-23）与常规药筒定装式固体发射药火炮类似。液体发射药装填在固定容积的药筒内，经点火后整体燃烧；整装式液体发射药火炮采用的是单元液体发射药。整装式液体发射药火炮结构简单、装填方便，但液体发射药整体燃烧的稳定性较差，弹道重复性不好保证，现在已很少采用。

(2) 外喷式液体发射药火炮

外喷式液体发射药火炮是依靠外力在发射时适时地将液体发射药喷射到燃烧室进行燃烧(图 3-1-24)，其通常采用的是二元液体发射药。由于膛内压力很高，外喷压力又必须大于膛内压力，因此需要一个外部高压伺服机构来完成液体发射药的喷射。由于该外部高压伺服机构相当复杂，控制困难，因此，现在液体发射药火炮已经不再采用外喷式。

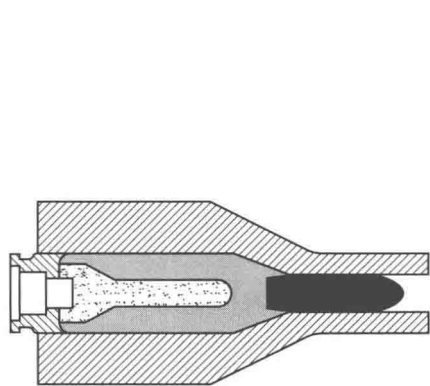


图 3-1-23 整装式液体发射药火炮

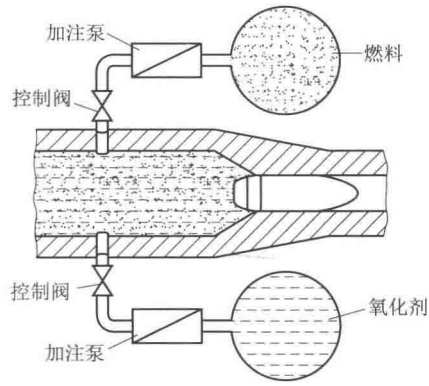


图 3-1-24 外喷式液体发射药火炮

(3) 再生式液体发射药火炮

再生式液体发射药火炮(RLPG)的工作原理如图 3-1-25 所示。在发射前，液体发射药被注入贮液室。点火具点火后，点火腔内的点火药(固态或液态)燃烧，生成的高温高压气体由点火具孔喷入燃烧室中，使燃烧室内压力升高，从而推动再生喷射活塞并挤压贮液室中的液体发射药。由于差动活塞的压力放大作用，贮液室内液体压力大于燃烧室内气体压力，贮液室中的液体发射药经再生喷射活塞喷孔喷入燃烧室，并迅速雾化，被点燃并不断燃烧，使燃烧室压力进一步上升，继续推动活塞并挤压贮液室中的液体发射药，使其不断喷入燃烧室，同时推动弹丸沿炮管高速运动，形成再生喷射循环，直到贮液室中的液体发射药喷完为止。再生式液体发射药火炮可以通过控制液体发射药的流量，来控制内弹道循环。

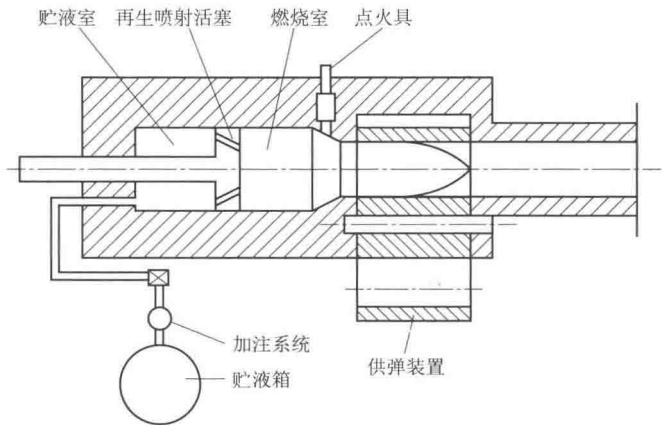


图 3-1-25 再生式液体发射药火炮

再生式液体发射药火炮是目前发展最快、最接近实用的液体发射药火炮。

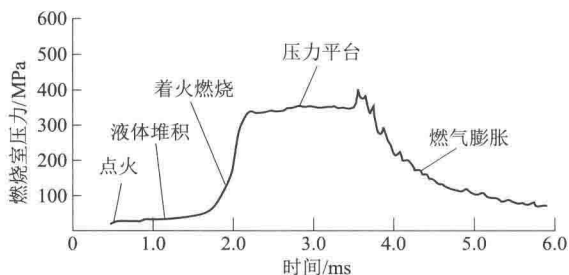


图 3-1-26 典型的再生式液体发射药火炮膛压曲线

再生式液体发射药火炮的再生喷射过程（图 3-1-26）大致可分为如下五个阶段：

① 点火阶段：点火具点火，点火燃气进入燃烧室，燃烧室压力增加。

② 点火延迟及液体发射药初始堆积阶段：点火燃气压力逐渐上升，推动喷射活塞挤压贮液室中的液体发射药，使其喷射到燃烧室并被加热，此时燃烧室中环境不足以使发射药着火。

③ 液体发射药着火阶段：经一定的延迟时间之后，燃烧室中的压力和温度达到一定值，此时堆积在燃烧室中的液体发射药着火，压力增高，同时燃速增大，堆积在燃烧室内的和继续喷入的液体发射药迅速燃烧，压力陡增到一定值时，弹丸开始启动。

④ 压力平台阶段：燃烧室中液体发射药燃烧的增压作用与弹丸和喷射活塞运动的减压作用达到准稳态平衡，从而保持燃烧室中压力基本不变，形成压力曲线的平台现象。

⑤ 燃气膨胀阶段：喷射活塞运动到位，液体发射药喷射结束并燃尽，弹丸依靠燃气膨胀做功继续运动。

再生式液体发射药火炮虽然比固体发射药火炮复杂，但是具有更为优良的综合性能，主要表现在如下几个方面：

① 提高火炮威力。再生式液体发射药火炮，可以通过控制喷入燃烧室的液体发射药流量来控制燃烧，实现膛压曲线的压力平台，提高膛压的充满度，从而大幅度提高火炮弹丸初速和增大射程，同时穿甲厚度可提高 30%。美国研制的 155 mm 再生式液体发射药火炮，采用 52 倍口径炮身，使常规弹丸 M549 实现射程 44 km，而同样的弹丸 M109 155 mm 在固体发射药火炮下射程仅为 30 km，即使采用先进的模块化固体装药也只能使射程达到 39.6 km，而且还需将炮身由 52 倍口径加长到 54 倍口径。

另外，液体发射药直接注入火炮，可以简化弹药装填，大大提高发射速度。155 mm 再生式液体发射药火炮射速已实现 6~8 发/min，而固体发射药火炮只能达到 4~6 发/min。

由于液体发射药具有流动性，因此可以任意控制其注入量，从而调节射程，提高武器系统的火力机动性，特别是单炮多发弹同时弹着目标的能力。155 mm 再生式液体发射药火炮使用 M549 弹和 52 倍口径炮身，在 8~36 km 射程内可实现多发同时弹着。

按此估计，一门 155 mm 再生式液体发射药火炮的火力相当于现今一个炮兵连。

② 提高火炮系统的生存能力。

目前，再生式液体发射药火炮所采用的单元液体发射药，只有在一定的压力和温度环境下才能着火，对撞击和振动不敏感，在常压下不燃烧，受枪击不易引爆，运输、贮存安全。

液体发射药以雾滴形式燃烧，所以燃烧充分；炮口的火焰、烟雾较少，声音小，不易暴露，大大降低了被发现的可能性。

再生式液体发射药火炮，可以控制发射药能量的释放，提高膛压的充满度，在初速不变时，可以大幅度降低压力峰值，减小火炮质量。

液体发射药储存方便，不占用专门的储存空间，有利于武器系统合理布局，还可增加携弹量，因此大大减小车体外形尺寸。

另外，液体发射药批量生产工艺简单、成本低廉，具有良好的经济性，还能够简化和加快后勤补给。

再生式液体发射药火炮利用自身结构内的液体发射药燃烧能量推动再生喷射活塞（差动活塞）实现液体发射药的连续喷射和补充，其试验装置的再生喷射结构形式多种多样。早期用于研究的再生喷射结构为多活塞式再生喷射结构（图 3-1-27），该试验装置复杂，所用发射药存在性能缺陷，严格限制了试验的进行，目前已基本淘汰。随着单元液体发射药的研制成功，出现了直筒式再生喷射结构（图 3-1-28）、空心活塞式再生喷射结构（图 3-1-29）、外环式结构（图 3-1-30）、内环式结构（图 3-1-31）、改进型内环式结构（图 3-1-32、图 3-1-33）、反向式再生喷射装置（图 3-1-34）等。

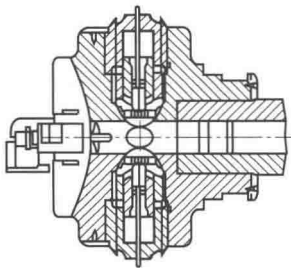


图 3-1-27 多活塞式再生喷射结构

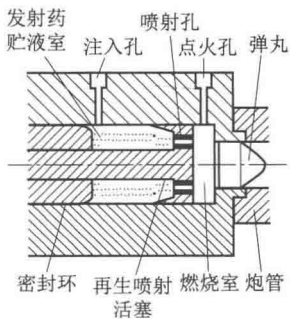


图 3-1-28 直筒式再生喷射结构

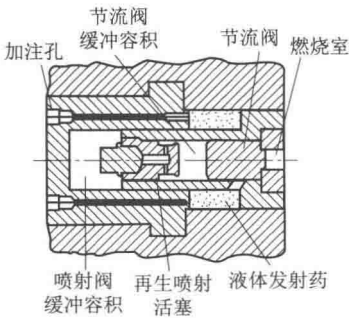


图 3-1-29 空心活塞式再生喷射结构

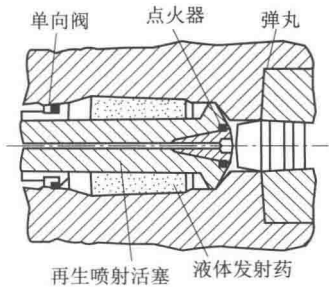


图 3-1-30 外环式再生喷射结构

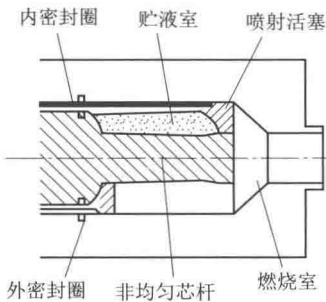


图 3-1-31 内环式再生喷射结构

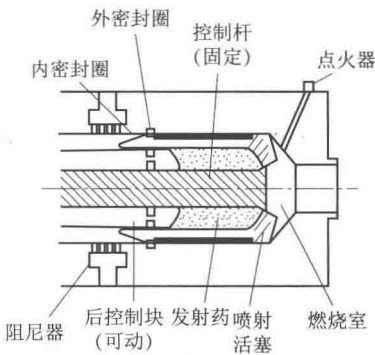


图 3-1-32 内环式 VIA 型再生喷射结构

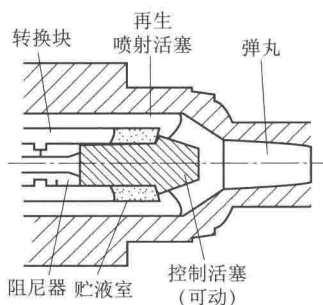


图 3-1-33 内环式 VIC 型再生喷射结构

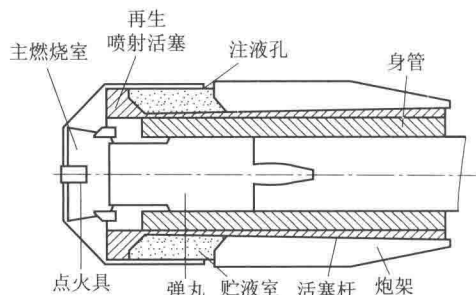


图 3-1-34 反向式再生喷射结构

从 1946 年到现在的 80 年里，美国进行的液体发射药火炮技术的研究取得了巨大成就。20 世纪 80 年代末期，美国陆军为 21 世纪选择先进火炮系统而提出发展 155 mm 先进野战火炮系统（AFAS）的计划。GE 公司在 1988 年开始进行 155 mm 再生式液体发射药火炮 1 号炮和 2 号炮的试验研究，与电热炮、单元模块式固体发射药（MACS）火炮一起开展竞争性评价。由于 GE 公司液体发射药火炮方案达到的性能全面超过军方要求，于是 1991 年 10 月陆军决定 AFAS 选用液体发射药火炮方案，从此美国正式开始了液体发射药火炮技术的工程化应用研究。1992 年，美国完成了液体发射药的试验研究，定名为型号装药 XM46，紧接着对 AFAS 的液体发射药火炮样炮进行装炮试验，结果其射程达 44 km，比要求高出 10%；射速达 5~7 发/min，能在 8~36 km 射程范围内实现多发同时弹着，主要性能超过军方要求的指标。但是，液体发射药火炮压力振荡没有得到有效抑制、燃烧不稳定、液体发射药对炮膛腐蚀严重等问题，使其从 AFAS 的主方案上退下来。在这一时期，美国陆军也开展了液体发射药火炮技术用于坦克炮的论证工作，并以 M1A1 坦克为对象进行了论证，认为应用前景良好。

英国和德国也在 20 世纪 50 年代开始研究液体发射药火炮，德国目前研究重点是再生式液体发射药火炮的压力振荡问题，他们在 28 mm、30 mm、40 mm 小口径火炮上，对不同的发射药、点火能量、喷孔面积、喷孔结构及流体通道条件等进行了大量对比试验。从资料上看，德国在压力振荡方面的研究比美国要细致和深入。同时，他们也进行了液体发射药的微量添加剂对压力振荡影响的研究工作。

液体发射药火炮技术的发展，主要在于解决工程化问题，如再生喷射结构与发射药的优化耦合、压力振荡的抑制、发射药的加注等。另外，避开液体发射药火炮中暂时难以解决的难题，将液体发射药火炮技术与其他发射技术有机结合，形成新的发射技术，如液体随行装药发射技术、液体辅助药室发射技术、液体电热化学发射技术等，是液体发射药火炮技术发展的另一个方向。

4. 电磁炮

电磁炮是完全依靠电磁能发射弹丸的一类新型超高速发射装置，又称作电磁发射器，它利用运动电荷或载流导体在磁场中受到的电磁力（通常称它为洛伦兹力）去加速弹丸。根据工作原理，电磁炮分为导轨炮和线圈炮两种。

导轨炮的工作原理如图 3-1-35 所示，结构上，它由一对平行的导轨和夹在其间可移动的电枢（弹丸）以及开关和电源等组成。接通开关后，一股很大的电流从一根导轨经炮弹

底部的电枢流向另一根导轨，在两根导轨之间形成强磁场，流经电枢的电流在磁场作用下，产生强大的电磁力（洛伦兹力），推动载流电枢（弹丸）在导轨间运动，从而将其发射出去。按目前的工程条件，理论上导轨炮发射的弹丸初速可达 $6\,000\sim 8\,000\text{ m/s}$ 。

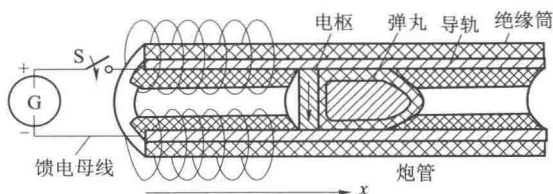


图 3-1-35 导轨炮的工作原理

导轨炮的磁场强度和电流越大，电磁力也就越大，弹丸获得的初速也就越大。

导轨炮可以有单一、串联、并联和多层等不同形式，根据导轨的形式可选用方形、圆形或椭圆形等多种炮口切面。电枢的种类主要有固态金属电枢、等离子体电枢和混合型电枢等。提供脉冲功率的能源，目前主要有电容器组、高性能蓄电池、各种单极发电动机、脉冲变压器、补偿型脉冲发电动机（即强制发电动机）和爆炸发电动机，以及以后将会使用的超导储能系统等。

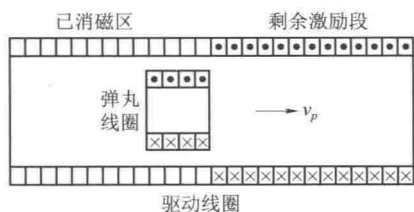


图 3-1-36 线圈炮的工作原理

线圈炮工作原理如图 3-1-36 所示，结构上线圈炮主要由感应耦合的固定线圈和可动线圈以及储能器、开关等组成。许多个同口径、同轴固定线圈相当于炮身，可动线圈相当于弹丸。炮管的第一个线圈通过强电流时形成磁场，弹丸上的线圈感应产生电流，磁场与电流相互作用产生推力（洛伦兹力），推动可动弹丸线圈加速运动；当弹丸到达第二个线圈时，向第二个线圈供电，又推动弹丸前进，然后经第三个线圈、第四个线圈……直至最后一个线圈，从而逐级把弹丸加速到很高的速度。

加速弹丸的推力（洛伦兹力）正比于固定线圈中的电流、弹丸线圈中的电流及固定与可动线圈的互感梯度。

线圈炮的结构有同轴式、扁平式、滑动接触式、磁性加速体式等。

另外，还有由多级上、下长方形同轴线圈组成的重接炮。发射体在两方线圈间隙做加速运动。重接炮被认为是未来先进天基电磁炮的结构形式，目前对它只做了一些初步的理论与试验研究。

电磁炮在原理上主要有导轨炮和线圈炮两种，但是在结构上采用多种混合方式。

1978 年以来，麻省理工学院研制了同轴线圈质量驱动装置和部分轨道加速装置以及火药推进和电磁力推进的混合加速系统。1979 年，在美国加利福尼亚州的罗伦茨·利弗莫尔国立研究所研制的爆发磁通压缩轨道炮，已使质量为 $1\sim 3\text{ g}$ 的弹丸加速到 $7\,000\sim 9\,000\text{ m/s}$ 的最大速度。威斯汀豪斯公司从 1979 年开始研制电磁炮，使 300 g 的弹丸加速到 $3\,000\text{ m/s}$ 。1981 年，通用动力公司研制并试验了电磁力轨道加速装置，使用的炮弹是“法兰克斯”型特种穿甲弹。

电磁炮的优点是弹丸初速高、精度高、后坐力小、无炮口火焰、无烟雾、无药筒、可简化火控系统、装弹容易；缺点是发射轨磨损会影响射击精度、电磁辐射影响乘员安全、易受无线电干扰。

5. 电热炮

电热炮和电磁炮同是电炮家族的重要成员。电热炮是利用放电方法产生的等离子体推动弹丸运动的。这种等离子体属低温等离子体，又称电弧等离子体，因此早期的电热炮称为“电弧炮”。电弧等离子是在机械、热和磁的三种压缩机机制作用下产生的。电热炮中的等离子体产生及其做功过程是在封闭的放电管或炮膛内进行的，又都是脉冲式工作的，所以电热炮也曾称为脉冲等离子体加速器或等离子体炮。

(1) 纯电热炮

纯电热炮是完全依靠电能工作的，其工作原理使用特定的高功率脉冲电源向某些相对分子质量小的惰性第一工质（如聚乙烯或金属丝/箔等）放电，把工质加热而转变成高温高压等离子体状态，利用含有热能和动能的等离子体直接推动弹丸运动（图 3-1-37），因此称为直热式电热炮或单热式电热炮。弹丸的运动完全是利用电能来进行的，故也称为纯电热炮。

根据等离子体注入方式的不同，可分为侧注入式电热炮和后注入式电热炮两类。前者从炮膛周围侧面注入，后者从后膛注入。

依据放电加热机构的不同，纯电热炮有管放电式和药室放电式之分。管放电式电热炮有专门设计的放电管（或等离子体产生器），放电加热在放电管内进行，即在放电管内产生等离子体，供直热式或间热式两种电热炮用。药室放电是指在较大体积的药室内装有推进剂和电极，电极放电加热推进剂，这一些电热化学炮常用的方案。

(2) 电热化学炮

电热化学炮的工作原理是先利用高功率脉冲电源放电产生高温高压等离子体，然后再利用加热第一工质产生的等离子体去加热其他更多质量的低相对分子质量的第二工质，使其气化或离解和燃烧、加热，产生高温高压燃气膨胀做功来推进弹丸（图 3-1-38）。第二工质的初始状态可以是固体、液体、糨糊状的胶滞体或气体，但其相对分子质量一般都比常规火炮用的固体发射药相对分子质量低得多。此外，也可以直接用等离子体加热发射药，使其产生化学反应，变成含少量等离子体的高温高压燃气来推动弹丸。用电能产生的等离子体再加热其他更多质量小的工质成气体面推进弹丸的电热化学炮，称为间热式电热炮或复热式电热炮。绝大多数间热式电热炮发射弹丸时既使用电能又使用化学能（发射能量约 20% 来自电能，80% 来自化学反应），故也称为电热化学炮。

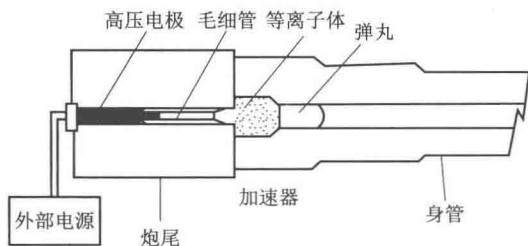


图 3-1-37 电热炮工作原理示意

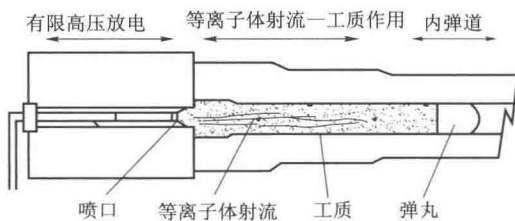


图 3-1-38 电热化学炮工作原理示意

目前研制的电热化学炮主要分两类：一类是采用固体推进剂（含发射药）的电热化学炮，称为固体电热化学炮（SPETCG）；另一类是采用流体推进剂（工作流体）的电热化学

炮，称为流体电热化学炮（PETCG）。

电热炮的主要优点有：

- ① 采用等离子体发射，初速高、射程远；
- ② 弹道可控性好；
- ③ 发射能源为电能和普通化学能，能源简易；
- ④ 弹丸初速和射程可以通过改变电流大小进行控制，有利于改变射程。

电热炮比电磁炮更容易先在主战坦克上使用。

第二节 弹 药

弹药一词最早来自法语“munition de guerre”，意思是战争之需。现代弹药既可用于军事，也可民用。

军事上的弹药，一般指有壳体，装有火药、炸药或其他装填物，能对目标起毁伤作用或完成其他任务的军械物品。它包括枪弹、炮弹、手榴弹、枪榴弹、航空炸弹、火箭弹、导弹、鱼雷、深水炸弹、水雷、地雷、爆破器材等。

火炮弹药也即炮弹，是供火炮发射的弹药，它依靠炮膛内火药燃气压力推动弹丸而获得初速。炮弹是坦克装甲车辆武器系统的重要组成部分。通常所说的炮弹是指直径在 20 mm 以上，用于完成爆破、杀伤、穿甲、照明或其他任务的弹药。从早期的石霰弹到现在的坦克炮弹，已有用不同火炮发射、不同用途的十几种类型炮弹。

现在坦克装甲车辆常用的弹种有：穿甲弹、破甲弹、碎甲弹、杀伤爆破榴弹和兼有破甲、杀伤作用的多用途弹。

现代坦克装甲车辆炮弹的性能特点可以概括为以下几点：

- ① 弹丸初速高：目前使用的次口径脱壳穿甲弹初速已达 1 800 m/s。
- ② 射程远：由于弹药技术的发展，普通榴弹射程已达 39 km，火箭弹射程在 40 km 以上。
- ③ 精度高：现装备的某制导炮弹，在 16 km 射程上圆概率偏差仅为 0.3~1 m。
- ④ 威力大：表现为榴弹的杀伤半径大，穿甲弹的穿甲厚度大、效果好。

弹药的发展主要呈现以下几个趋势：

① 进一步发展次口径弹、底部排气弹、火箭增程弹等技术，来提高弹丸的发射初速和增大射程。其中，增程率可达 24%~50%。

② 采用新型的自锻破片、串联空心、模块、液体发射药等装药技术来提高弹药性能。

③ 大力发展能提高炮弹威力的子母弹技术。

④ 研制开发采用红外、毫米波、GPS 制导技术的精确制导炮弹，大幅度提高炮弹威力和精度。

一、炮弹的分类、组成与毁伤作用

（一）分类

现代坦克装甲车辆上使用的炮弹有许多种，从不同的角度可分为不同的类别。

1. 按照用途分类

按用途分类，炮弹可分为主用弹药、特种弹药、辅助弹药等。

主用弹药是指用于直接毁伤各类目标的弹药，包括杀伤弹、爆破弹、杀伤爆破弹、穿甲弹、破甲弹、混凝土破坏弹、碎甲弹、子母弹和霰弹等。

特种弹药是用于完成某些特殊作战任务的弹药，如照明弹、燃烧弹、烟幕弹、信号弹等。

辅助弹药是供靶场试验和部队训练等非作战使用的弹药，如训练弹、教练弹和试验弹等。

2. 按弹丸与药筒的装配关系分类

按弹丸与药筒的装配关系分类，炮弹可分为定装式弹药、药筒分装式弹药等。

定装式弹药是指弹丸和药筒结合为一个整体，射击时一起装入膛内，因此发射速度快，容易实现自动装填。

药筒分装式弹药是指弹丸和药筒为分体，发射时先装弹丸、再装药筒，因此发射速度较慢，可以根据需要改变药筒内发射药的量。

3. 按发射的装填方式分类

按发射的装填方式分类，炮弹可分为后装式弹药、前装式弹药等。

后装式弹药是指弹药从尾部装入膛内，关闭炮闩后发射，现代坦克装甲车辆火炮都采用后装式。

前装式弹药是指弹药从口部装入膛内发射，采用这种方式的主要是迫击炮。

4. 按口径分类

弹药按口径划分见表 3-2-1。

表 3-2-1 弹药按口径划分的类别

类 别	地面炮/mm	高射炮/mm	舰载炮/mm
小口径弹药	20~70	20~60	20~100
中口径弹药	70~155	60~100	100~200
大口径弹药	>155	>100	>200

5. 按稳定方式分类

按稳定方式分类，弹药可分为旋转稳定式弹药、尾翼稳定式弹药等。

旋转稳定式弹药是依靠膛线或其他方式使弹丸高速旋转，按照陀螺稳定原理在飞行中保持稳定。

尾翼稳定式弹药是弹丸不旋转或低速旋转，依靠弹丸的尾翼使空气动力作用中心（压力中心）后移，一直移到弹丸质心之后的某一距离处，从而保持弹丸飞行稳定。

6. 按投射方式分类

按投射方式，坦克装甲车辆上弹药可分为射击式弹药、自推式弹药两种。

(1) 射击式弹药

射击式弹药是指由各类枪炮身管武器以火药燃气压力从膛管内发射的弹药，包括炮弹、枪弹等。炮弹、枪弹具有初速大、射击精度高、经济性好等特点，是战场上应用最广泛的弹

药,适用于各军兵种。

炮弹是指口径在 20 mm 以上,利用火炮发射,完成杀伤、爆破、侵彻或其他战术目的的弹药。炮弹主要用于压制敌人火力,杀伤有生力量,摧毁工事,毁伤坦克、飞机、舰艇和其他技术装备。

枪弹是从枪膛内发射的弹药,主要对付人员及薄装甲目标,结构与定装式炮弹类似。普通枪弹弹头多是实心的。穿甲燃烧弹弹头除有穿甲钢心外,还装填少量燃烧剂,借助高速撞击压缩而引燃。20 世纪 60 年代出现的无壳弹,射击后无须退壳,有利于武器性能的提高。

(2) 自推式弹药

自推式弹药是指本身带有推进系统的弹药,包括火箭弹、导弹等。这类弹药靠自身发动机推进,以一定初始射角从发射装置射出后,加速至一定速度后才进入惯性自由飞行阶段。发射时过载低、发射装置对弹药的限制少、结构形式多样,易于实现制导,因此具有广泛的战略战术用途。

火箭弹是指非制导的火箭弹药,利用火箭发动机从喷管中喷出的高速燃气流产生推力。发射装置轻便,可多发联射,火力猛、突袭性强,但射击精度较低,适用于压制兵器和对付地面目标。

导弹是依靠自身动力装置推进,由制导系统导引、控制其飞行路线并导向目标的武器。

(二) 炮弹的毁伤作用

炮弹对目标的毁伤一般是通过其在弹道终点处与目标发生的碰击、爆炸作用释放自身的动能或爆炸能或其产生的作用元(破片、射流等),从而对目标进行机械的、化学的、热力效应的破坏,使之暂时或永久地局部或全部丧失正常功能,最终丧失作战能力。

1. 弹药爆破作用

装填猛炸药的弹丸或战斗部爆炸时,形成的爆轰产物和冲击波对目标具有破坏作用,其破坏机制主要为:

(1) 爆轰产物的直接破坏作用

弹丸爆炸时,形成的高温高压气体以极高的速度向四周膨胀,强烈作用于周围邻近的目标上,使之破坏或燃烧。由于作用于目标上的压力随距离的增大而快速下降,因此它对目标的破坏区域很小,只有与目标接触时爆炸才能充分发挥作用。

(2) 冲击波的破坏作用

弹丸在空气、水等介质中爆炸时,形成的强压缩波对目标造成破坏。这种情况下,爆炸时高温高压的爆轰产物以极高的速度向周围膨胀飞散,强烈压缩邻层介质,使其密度、压力和温度突跃升高并高速传播。

2. 破片杀伤作用

破片杀伤作用是指弹药爆炸时形成的破片对目标的毁伤效应,表征杀伤弹药的威力。杀伤作用的大小取决于破片的分布规律、目标性质和射击(或投放、抛射)条件。

3. 弹药燃烧作用

弹药燃烧作用是指燃烧弹等弹药通过火焰对目标的毁伤作用,此处的目标通常指可燃的木质建筑物、油库、弹药库、干木材以及地表面的易燃覆盖层等。

4. 弹药软杀伤作用

弹药的软杀伤作用包括对人员的非致命杀伤效应和对武器装备的失能效应。软杀伤作用

是针对武器系统和人员最关键且最脆弱的环节（部位）实施特殊的手段，使之失效，处于瘫痪状态。根据针对的关键且脆弱的环节不同，形成了各种各样的软杀伤机制和效应。

对人员的软杀伤主要是生物效应和热效应。生物效应是由较弱能量的微波照射后引起的，它会导致人员神经紊乱、行为错误、烦躁、致盲或心肺功能衰竭等。热效应是由强微波照射引起的。目前，弹药对人员的软杀伤作用主要有激光致盲毁伤、次声波毁伤和非致命化学战剂毁伤等形式。

对武器装备的毁伤主要有高功率微波辐射和电磁脉冲毁伤、激光毁伤、碳纤维弹毁伤等形式。

5. 弹药穿甲作用

弹药穿甲作用是指弹丸等以自身的动能侵彻或穿透装甲，对装甲目标形成的破坏效应。弹丸着速通常为 $500 \sim 2\,000 \text{ m/s}$ 。在穿透装甲后，利用弹丸或弹、靶破片的直接撞击作用，或由其引燃、引爆所产生的二次效应，或弹丸穿透装甲后的爆炸作用，可以毁伤目标内部的仪器设备和有生力量。

6. 弹药破甲作用

弹药破甲作用是指破甲弹等空心装药爆炸时，金属药型罩在爆轰产物的高压作用下迅速向轴线闭合，罩内壁金属不断被挤压形成高速射流向前运动，对装甲目标进行侵彻、穿透和后效作用的毁伤效应。

7. 弹药碎甲作用

弹药碎甲作用是指以炸药装药紧贴装甲板表面爆炸，使装甲背部飞出崩落碎片并毁伤装甲目标内部人员与设备的破坏效应。它是将高猛度塑性炸药与装甲板接触爆炸的爆轰波能量，转化为向板中传播的强冲击波能量来破坏装甲的。

（三）炮弹的组成

火炮弹药也称炮弹，是供火炮发射的弹药，它依靠炮膛内火药燃气压力的推动而获得初速。炮弹是火炮系统完成战斗任务的核心部分，它的发展和改进能直接提高火炮系统的威力、射程和精度，并能有效地增加火炮系统的作战功能。

炮弹由弹丸和药筒两部分组成（图 3-2-1）。

1. 药筒部分

药筒部分由底火、发射药、药筒组成。

（1）底火

底火是用于点燃发射药的发火装置，由发火塞、外壳、火帽、火药等组成，结构如图 3-2-2 所示。

（2）发射药

发射药是推动弹丸运动、赋子弹丸必需初速的含能材料，其形状有管状、片状、棒状、药包等。目前最高火药力一般在 $1\,200 \text{ kJ/kg}$ 以下。发射药常采用以硝化纤维素为主要成分的单基、双基和三基药。

发射药由点火药、护膛剂、消焰剂、除铜剂和发射装药组成。

点火药常使用黑火药。它被放置在底火和发射药之间，用于加强底火的点火能力。

护膛剂用于减轻火药气体对火炮内壁的烧蚀，可延长身管的使用寿命 $2 \sim 5$ 倍。它浸在固定在药筒壁上的护膛纸上，在弹丸发射时气化解。

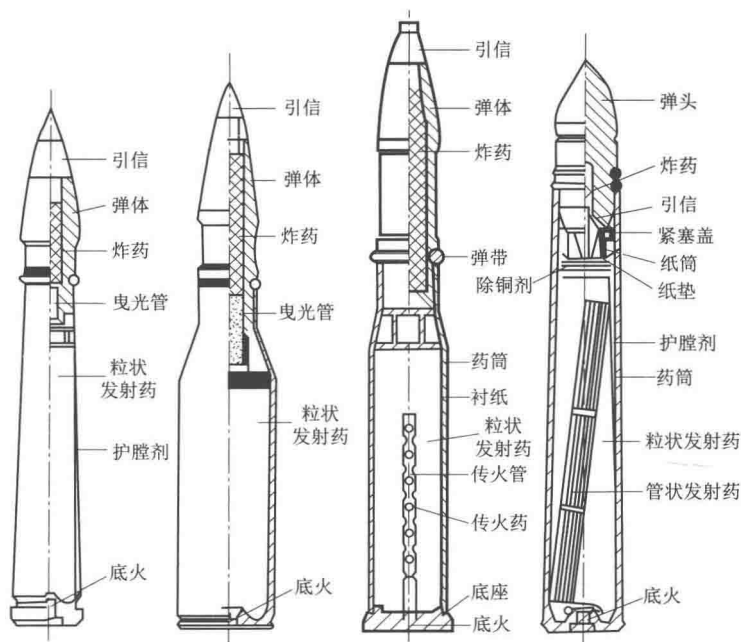


图 3-2-1 炮弹的组成

消焰剂的作用是减少发射时在炮口和炮尾处形成的火焰，提高人员和装备夜间作战时的安全性。它填加在发射药中，占其总量的 1.5%~2%。

除铜剂常用铅丝环放置在发射药上面，它占发射装药的 0.5%~2%。紫铜弹带来磨损后产生的积铜化合物形成易熔合金，这种合金由发射火药气体或下一发炮弹带出膛，以此来减少火炮内膛磨损、提高身管的寿命和火炮发射时的安全性。

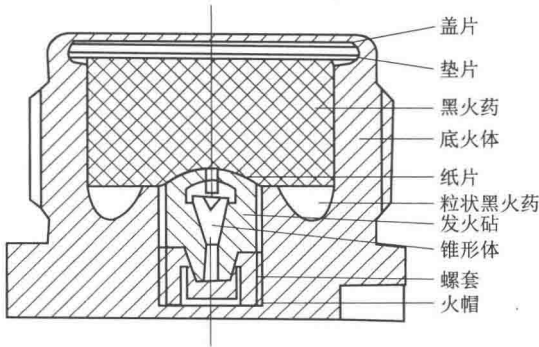


图 3-2-2 底火

(3) 药筒

药筒用于装置发射药和底火。药筒材料一般为黄铜、低碳钢、铝合金和塑料等。药筒的类型很多，并且有各种各样的分类方式。

1) 按装填方法分类

按照弹丸与药筒之间的装配关系，药筒可以分为定装式药筒和分装式药筒两种。

定装式药筒与弹丸尾部紧密结合，并要求有一定的拔弹力，以保证装填和勤务处理时不松动。定装式药筒在发射时一次装入膛内，发射速度快。

分装式药筒是和弹丸分别装入炮膛的，由于采用两次装填，所以发射速度较慢。分装式药筒口部平时用紧塞具密封，射击时取出。

2) 按结构分类

根据结构的不同，药筒可以分为整体式药筒、焊接式药筒和装配式药筒三种。

整体式药筒又称为无缝药筒，其整个药筒为一整体，战术性能和勤务处理性能好，但生产工艺复杂。焊接式药筒筒底一般为低碳钢经冲压加工后再经机械加工而成，筒体沿纵缝焊接（图 3-2-3）。装配式药筒由若干零件装配而成，一般由筒底、筒体、连接零件和密封元件组成。这种结构虽然应用不多，但其各零件可用通用设备制造，战时动员性好。装配式药筒又可分为卷筒式和整筒式两种（图 3-2-4）。

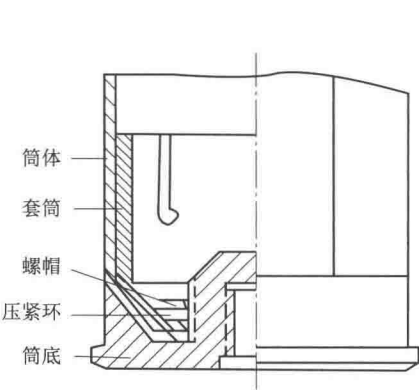


图 3-2-3 焊接式药筒

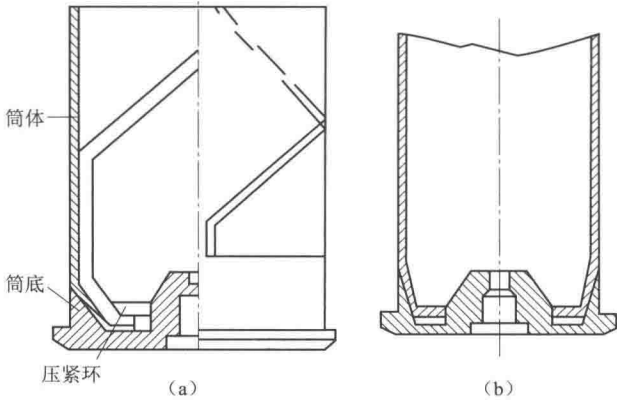


图 3-2-4 装配式药筒

(a) 卷筒式；(b) 整筒式

3) 按所用材料分类

按所用材料分类，药筒可以分为可燃药筒和非可燃药筒两大类。

非可燃药筒又可以分为铜制药筒、钢制药筒和代用品药筒。

无论从药筒发展的历史还是从药筒应用的广泛性来看，铜制药筒都居首位。黄铜韧性大、强度高、工艺性能好，这是其他材料所无法相比的，但其经济性差。用钢制药筒代替铜制药筒可以提高其经济性能，而且由于加工工艺和热处理工艺的改进，其性能逐渐提高，为其广泛应用创造了条件。

在战争中钢材的消耗量很大，制造一个大口径药筒比制造同口径炮弹要困难得多，因此出现了代用品药筒和可燃药筒的研究。德国最早提出可燃药筒的研究，美国则在研究代用品药筒。代用品药筒包括铝制药筒、塑性药筒、纸质药筒等几种。第二次世界大战后，美国也着手研究可燃药筒，并于 1962 年宣布研制成功。

可燃药筒是用可燃性物质制成，发射时在膛内燃完，无须退出炮膛。可燃药筒的主要特点是药筒本身也是发射药的一部分，因此可大大减小全弹质量，特别适于坦克炮。可燃药筒可分为全可燃与半可燃两种，其中带有金属底座的可燃药筒称为半可燃药筒，目前大多采用这种药筒，并配于现有火炮使用。可燃药筒的出现，给弹药装备带来了很大方便。

2. 弹丸部分

炮弹的弹丸部分由引信、弹体和装填物等组成。

(1) 引信

引信是一种感觉目标信息或按预定条件起爆，从而引燃弹丸战斗部装药的控制装置。它由发火控制系统、传播构件、保险及解除保险系统三部分组成。按作用，引信又可分为触发引信、非触发引信和时间引信三种。

1) 触发引信

触发引信指与目标接触才作用的引信，又称着发引信。触发引信由瞬发和惯性触发机构、装定装置三部分组成（图 3-2-5），其结构简单、工作可靠。触发引信采用瞬发装定时，弹着冲击力使击针刺击雷管发火，然后爆炸气冲破底部密封片，引爆火焰雷管，使传爆药发火；采用延时装定时，爆炸气被阻火栓阻挡，但惯性机构中活动机件克服弹簧力前冲，使延期机构中击针与火帽相碰发火，经火帽中延迟药延迟一段时间后，再引爆火焰雷管和传爆药。

另外还有一类电触发引信，其作用时间短、大着角可靠性好。其中的压电引信触发时间在 $100\ \mu\text{s}$ 内，而磁电引信的触发时间在 $50\ \mu\text{s}$ 内。它们多用于反坦克导弹、炮弹、火箭弹上。

2) 非触发引信

非触发引信指借由目标周围的物理场来感觉而起作用的引信，又称近炸引信，主要有无线电和非无线电两类。

无线电引信包括：连续毫米波多普勒引信，这种引信定位精度不高、结构简单、工作可靠，多用于炮弹、航弹、火箭弹上；调频引信，这种引信定位精度高，抗干扰性好、结构复杂、造价高，常用于地-空、空-空导弹上；脉冲多普勒引信，这种引信抗干扰性好，多用于航弹上。

非无线电引信包括：激光引信，这种引信不受干扰及静电感应影响、安全可靠，多用于空-空、地-空航弹上；电容引信，这种引信作用可靠、抗干扰能力强、炸高稳定、定距精度高，仅英国用于地-空导弹上；红外引信，这种引信属于用红外光探测目标地光引信，用于反坦克地雷和子母弹的子弹上；磁感应（动磁感应）引信，这种引信广泛用于反坦克地雷上。

3) 时间引信

时间引信指按装定时间作用的引信，目前有机（钟表）和电子时间引信两种。机械（钟表）引信全作用时间为 $100\sim 200\ \text{s}$ ，并且不受外界影响、时间精度好、结构和制造工艺复杂，用于榴弹和子母弹的母弹上；电子时间引信全作用时间为 $200\ \text{s}$ ，其时间精度（ 0.1% ）比钟表引信的（ 0.25% ）好，装定操作仅需 $1\ \text{s}$ ，多用于炮弹、火箭弹上。

4) 多选择引信

多选择引信是一种集机械触发、近炸和时间引信于一体的多功能引信，又称多用途引信，可用于各种炮弹上。

(2) 弹体

弹体是容纳弹丸装填物并连接炮弹各零部件的壳体，分为弹头部、圆柱部、弹尾部等。弹头部是弹顶以下的弧形、台锥或两者结合的弹丸部分，为不同形状母线的回转体。

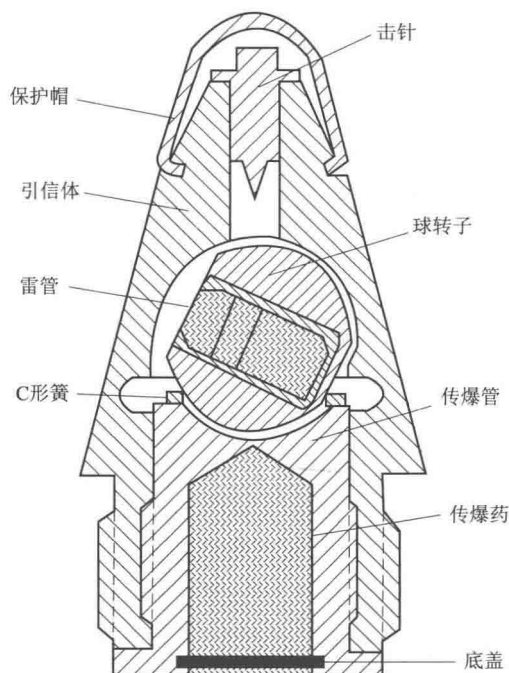


图 3-2-5 触发引信

圆柱部是与弹头部相连接的圆柱形弹丸部分，通常为上定心部至弹带之间的位置，它的尺寸能影响膛内导引性能和弹丸的威力。

弹尾部是圆柱部以下的弹丸部分，通常由尾柱部和尾锥部结合而成，弹尾部形状影响弹丸的底阻。

圆柱部的两端有定心部、弹带（导带）与闭气环。

定心部分为上定心部和下定心部，其作用是使弹丸在膛内正确定心，两个定心部表面可以承受膛壁反作用力。定心部与炮膛间有一很小间隙，可以保证弹丸顺利装填和运动。

下定心部一般都在弹带之前，保证弹丸装填时的弹带处于正确位置，并承受部分膛壁径向压力。

弹带是弹体上的金属或非金属的环形带，其作用是在弹丸发射时嵌入膛线，赋予弹丸一定的转速，并密闭火药燃气。分装式炮弹在装填时，其中的弹带还起定位作用。弹带材料应具有良好的强度和塑性，一般采用紫铜或镍铜。

闭气环由尼龙或塑料等材料制成，装在弹带的后面，它的作用是补充弹带闭气作用的不足。闭气环的直径比弹带的直径大，这样在膛线起始部有磨损的情况下，仍能保证弹丸装填入膛的初始位置不变、初速不致下降，同时延长火炮的寿命。某些尾翼弹也装有闭气环，它的作用是密闭高压火药燃气，以减小对炮膛的烧蚀及漏气带来的影响。

（3）装填物

大部分炮弹的弹丸装填物是炸药，其中穿甲弹和小口径高射炮弹一般选用钝黑铝炸药（钝化黑索金加铝粉）；破甲弹一般选用以黑索金为主体的混合炸药、钝化黑索金或奥克托今炸药，并采用聚能装药结构；碎甲弹选用以黑索金为主体的塑性炸药；杀伤爆破弹一般选梯恩梯或B炸药。根据炸药的性质和弹壳的结构，炸药的装填方法可选择螺旋压装、注装、压装和热塑态装药法等。

核、化学、生物炮弹的弹丸装填物则为核装药、化学毒剂和生物战剂。

（4）其他零部件

以上是弹丸的基本组成部件，不同种类的弹丸还有一些其他零部件和特殊结构。

1) 风帽

风帽是装在弹丸前端的用来改善弹形、减小空气阻力的零件。旋转稳定的弹丸采用风帽能提高其飞行稳定性。

2) 头螺

当弹丸需要从弹头部抛出装填物（如霰弹、燃烧弹），以及破甲弹的聚能装药，常需使用头螺。头螺与弹体连接必须保证同轴性、密封性和结合强度。

3) 底螺

底螺是螺接的底缘。需要从底部抛出装填物（如照明弹）或需要从底部装填炸药（如穿甲弹、混凝土破坏弹）时，常需使用底螺。底螺与弹体必须结合牢固，密封可靠。

4) 底凹

底凹是指弹丸底部有空腔的结构形式。采用底凹结构可以使整个弹丸具有良好的空气动力外形，还可以提高弹丸的飞行稳定性和增加射程。底凹结构有两种：一种是整体式，其与弹体为一整体；一种是非整体式，底凹件与弹体尾部用螺纹连接，构成弹丸的船尾部，必要时可改成底部排气弹。

5) 排气装置

排气装置是提高弹底压力、减小弹丸底阻、增加射程的装置,一般由壳体、排气药柱、点火器组成。

6) 弹托

弹托是次口径弹在膛内承受火药燃气压力和支撑、带动、导引弹体在膛内正确运动的部件。出炮口后,弹托应能与弹丸迅速分离,并对弹体不产生干扰。弹托常用在脱壳穿甲弹、次口径远程弹等弹种上。

7) 爆管

爆管是内装炸药的管状部件,插入某些弹丸装填物(毒剂、黄磷等)中间,并借助爆管内炸药的爆炸能量,将弹体炸开,使其内装填物迅速弥散开来。爆管主要用于化学弹和烟幕弹。

8) 尾翼稳定装置

尾翼稳定装置是保证弹丸稳定飞行的装置,分固定式尾翼和张开式尾翼两种。固定式尾翼的翼展多为适口径,常用于亚声速的迫击炮弹和某些破甲弹。张开式尾翼的翼展大于火炮口径,用于超声速弹丸上,尾翼在膛内呈合拢状态;弹丸出炮口后,可利用不同的结构和力使尾翼张开。张开式尾翼有气缸张开式尾翼、涡流张开式尾翼、火药气体直接作用的张开式尾翼。

二、常用弹种

现代坦克装甲车辆火炮的常用弹种有穿甲弹、破甲弹、碎甲弹、杀伤爆破榴弹和兼有破甲、杀伤功能的多用途弹。

(一) 穿甲弹

穿甲弹又称动能弹,是一种依靠发射弹丸的动能来击穿装甲、破坏设备、杀伤人员的炮弹,也是现代坦克装甲车辆配备数量最多的弹种。

1. 前期发展

穿甲弹于19世纪60年代问世,最初主要用来对付覆有装甲的工事和舰艇。第一次世界大战中坦克诞生之后,穿甲弹在与坦克装甲车辆的斗争中得到迅速发展,变成了攻击坦克、装甲车辆的主要弹种。穿甲弹的发展经历了以下几个阶段:

(1) 早期穿甲弹

穿甲弹诞生之初,先后有尖头穿甲弹、钝头穿甲弹、带风帽被帽穿甲弹三种普通穿甲弹形式。普通穿甲弹,是指适于口径的旋转稳定穿甲弹,即穿甲弹体的直径与火炮口径一致的旋转稳定穿甲弹。

尖头穿甲弹(图3-2-6)的侵彻阻力较小,适于攻击硬度较低、韧性好的均质装甲。在对付硬度较高的装甲时,其头部容易破碎;对付倾斜装甲时,尖头穿甲弹易出现跳飞现象。因而,面对现代坦克装甲,尖头穿甲弹已接近于被淘汰。

如图3-2-7所示,在接触装甲时,钝头穿甲弹由于接触面较大、碰击应力小,故头部不易破碎。在命中角较小时,弹丸能产生“转正”效应而防止跳飞。这种弹可用来对付硬度较高的装甲。

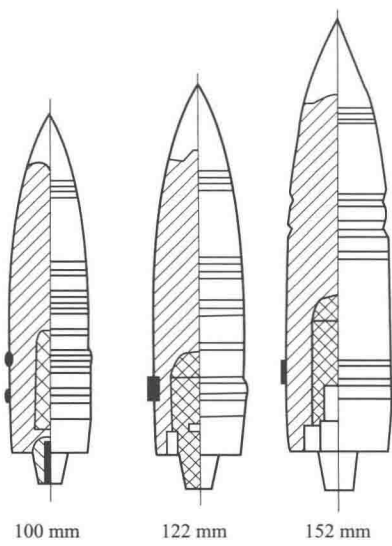


图 3-2-6 尖头穿甲弹

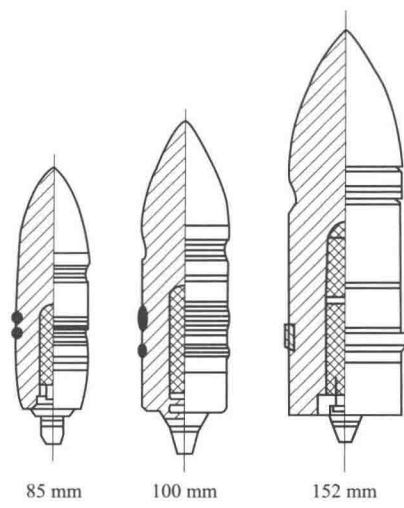


图 3-2-7 钝头穿甲弹

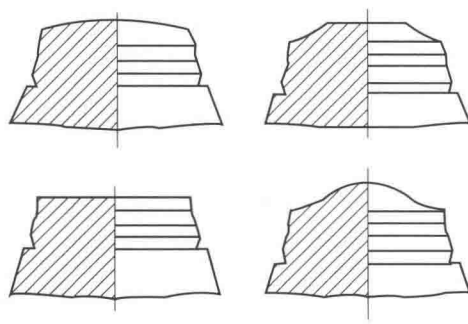


图 3-2-8 头部形状

钝头穿甲弹均有比较平钝的顶部，其形状有球面、平面和蘑菇形等（图 3-2-8）。

被帽穿甲弹（图 3-2-9）在命中目标时，被帽可以改善弹丸撞击装甲时弹体头部的受力状态；在被帽撞坏目标表面时，由弹体进行穿甲，因而效果较好。

被帽通常采用与弹体材料相当的合金钢制成，但是硬度一般比弹头部的低，韧性好些，以免被帽过早破裂而失去对弹头部的保护作用。

这三种穿甲弹共同的缺点是合金钢弹丸重，初速仅为 820~950 m/s，难以穿透较厚的装甲。

除了一些小口径穿甲弹是实心结构外（图 3-2-10），相当一部分穿甲弹都具有药室，药室内装有少量炸药，使弹丸穿透装甲后爆炸，从而发挥二次效应——杀爆作用。

这种装有炸药，且装填系数可达 4%~5% 的穿甲弹，常称为半穿甲或穿甲爆破弹（图 3-2-11）。

（2）次口径超速穿甲弹

次口径超速穿甲弹是在第二次世界大战后期出现的普通穿甲弹，其结构如图 3-2-12 所示。次口径超速穿甲弹在膛内和飞行时是适于口径的，命中目标后起穿甲作用的是直径小于火炮口径的碳化钨弹芯。弹丸总质量比同口径普通穿甲弹的小，因此初速可达约 1 200 m/s。由于只有弹芯穿甲，因而提高了穿甲性能。

次口径超速穿甲弹的结构与普通穿甲弹相比差别很大，按其外形的不同，可分为线轴型（图 3-2-13）和流线型（图 3-2-14）两种，线轴型的弹质量较小，流线型的弹形较好。

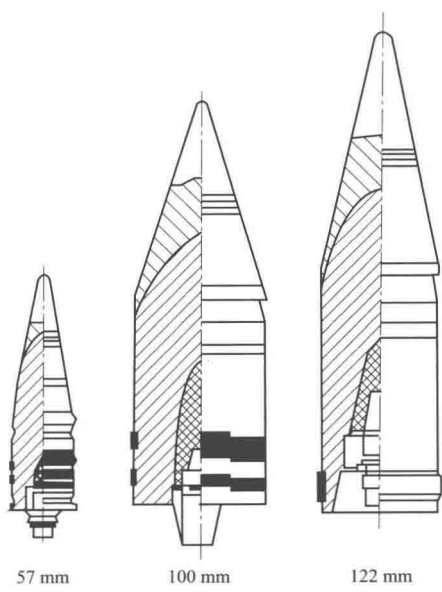


图 3-2-9 被帽穿甲弹

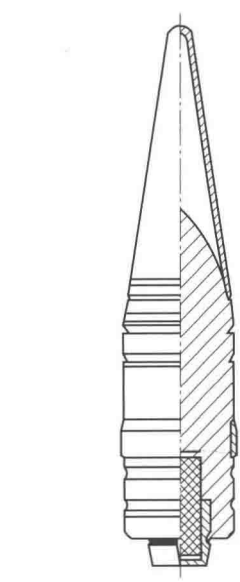


图 3-2-10 37 mm 尖头穿甲弹

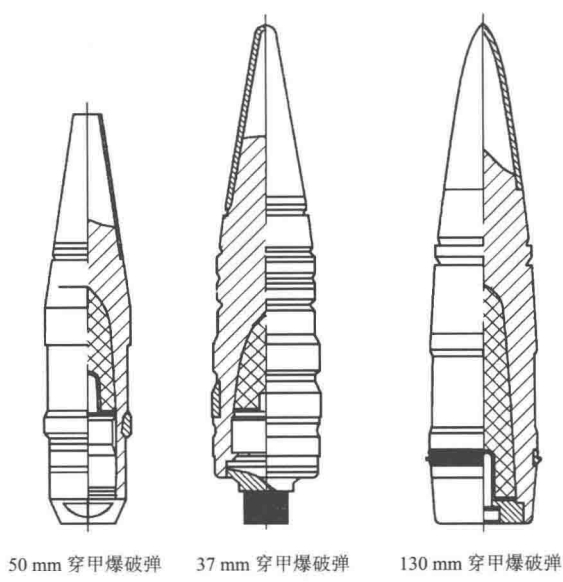


图 3-2-11 带有爆炸性能的穿甲弹

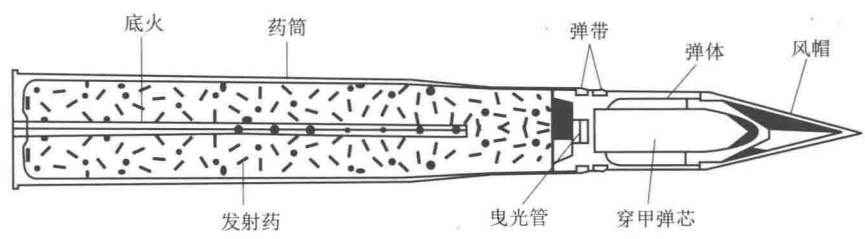


图 3-2-12 次口径超速穿甲弹

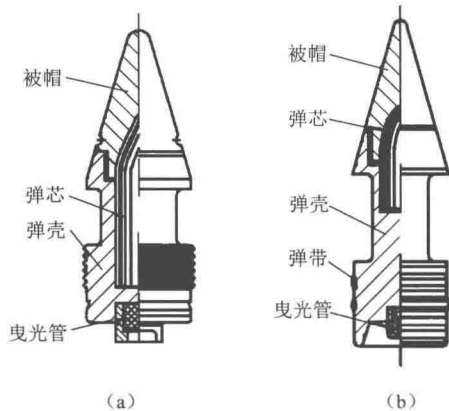


图 3-2-13 线轴型次口径超速穿甲弹
(a) 环形突起作为弹带；(b) 本身加有弹带

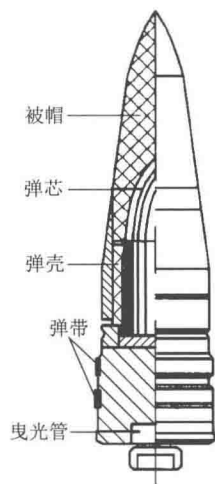


图 3-2-14 流线型次口径超速穿甲弹

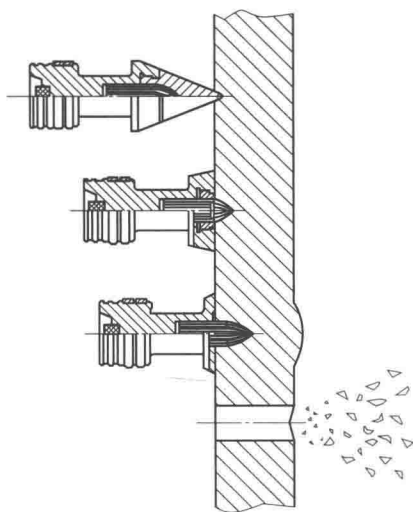


图 3-2-15 次口径超速穿甲弹穿甲过程

次口径超速穿甲弹主要由弹芯、弹壳、风帽（或被帽）、曳光管和弹带等组成。其中由碳化钨制成的弹芯是穿甲主体，这是因为碳化钨硬度高、密度大、耐热性强。弹壳一般由碳钢或铝合金制成。

由于碳化钨芯硬度高，次口径超速穿甲弹弹芯在穿甲过程中几乎不变形，可认为能量都用在侵彻钢甲上。碳化钨弹芯由于抗压而不抗拉，在穿透钢甲后，在突然卸载时产生拉应力，破碎成很多 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的高温碎块，可在坦克内部起到杀伤和燃烧作用（图 3-2-15）。

(3) 短圆柱脱壳穿甲弹

20 世纪 50 年代出现了短圆柱脱壳穿甲弹（图 3-2-16），该弹由次口径弹芯、镁铝合金弹托、纤维增强塑料弹带等组成。该种弹发射初速为 $1\,400\sim 1\,500\text{ m/s}$ ，弹丸出膛后，弹托可在离心力下与弹芯分离而靠动能穿甲。短圆柱脱壳穿甲弹飞行阻力小、穿甲威力大，但它对付大倾角装甲时容易跳飞，碰到复合装甲容易破碎。短圆柱脱壳穿甲弹穿甲厚度为口径的 $2.5\sim 3$ 倍。

(4) 旋转稳定超速脱壳穿甲弹

为了减小弹道速降，提高装甲有效射程，在次口径超速穿甲弹基础上发展了旋转稳定超速脱壳穿甲弹，其典型结构如图 3-2-17 和图 3-2-18 所示。

旋转稳定超速脱壳穿甲弹主要由弹体和弹托两大部分所组成。

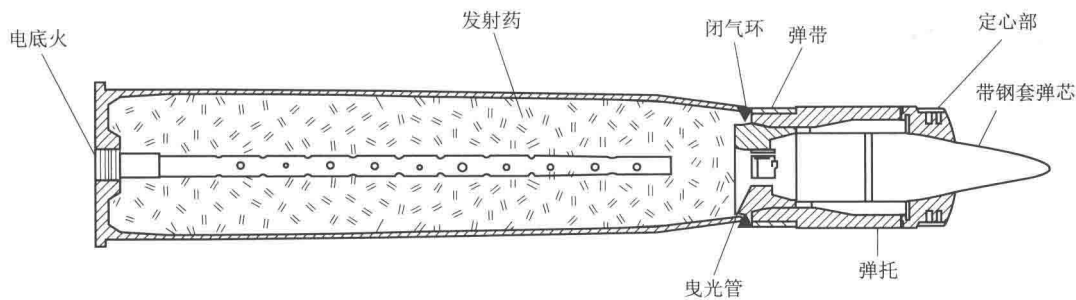


图 3-2-16 短圆柱脱壳穿甲弹

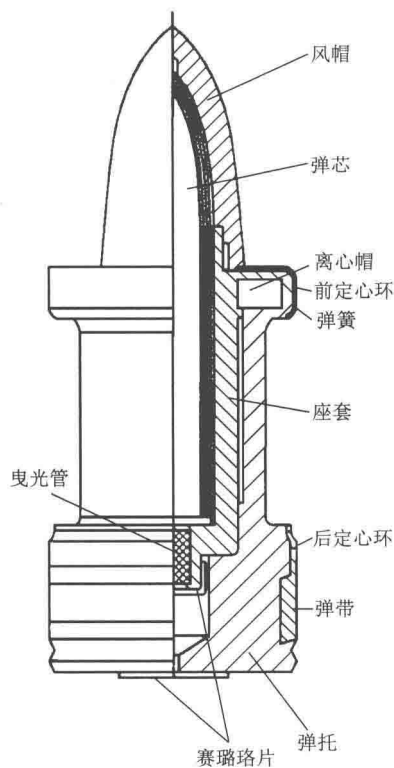


图 3-2-17 85 mm 加农炮用脱壳穿甲弹

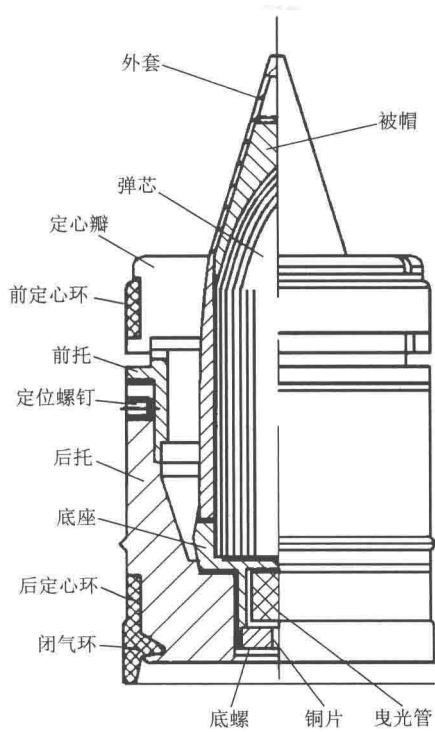


图 3-2-18 100 mm 反坦克炮用脱壳穿甲弹

弹体主要包括弹芯、弹芯外套和曳光管等，弹芯常用碳化钨或钨合金制成；弹芯外套是为连接曳光管和给弹丸以较好的空气动力外形而设置的。

弹托用来固定飞行弹体，在发射时导引和密封火药气体，并利用其弹带嵌入膛线而赋予弹丸以高速旋转；弹托在出炮口后自行脱离，使弹体获得良好的外弹道性能。

旋转稳定脱壳穿甲弹的优点是初速高、弹道低伸、直射距离远和射击精度高，但其穿甲威力受飞行稳定性的限制，并且在大着角射击时容易折断或跳飞，从而影响其穿甲性能。

以上介绍的几种穿甲弹都属于采用旋转稳定、线膛炮发射的穿甲弹。

2. 现代穿甲弹

(1) 尾翼稳定脱壳穿甲弹

最早在 1939~1940 年，德国首先采用尾翼来稳定炮弹的飞行姿态。20 世纪 60 年代苏联出现了采用 4~6 片尾翼稳定的脱壳穿甲弹，它主要装备在 T-62 坦克的 115 mm 和 T-72 坦克的 125 mm 滑膛炮上。

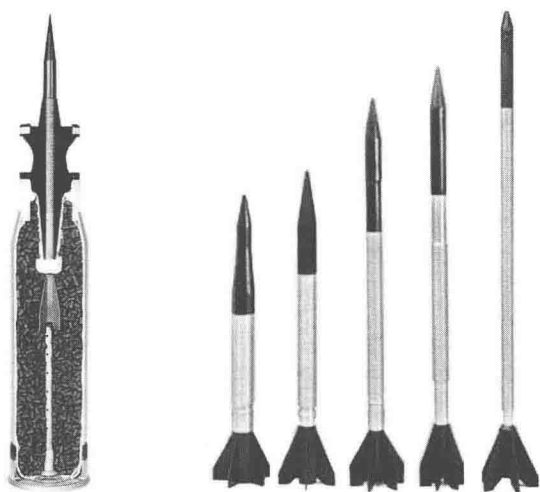


图 3-2-19 尾翼稳定超速脱壳穿甲弹

由于尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的弹长不受飞行稳定性的限制，因此一般把它做得很长（有的甚至达到 25~30 倍飞行弹径），这种弹也被称作长杆式尾翼稳定脱壳穿甲弹，或简称长杆式穿甲弹（3-2-19）。

杆式穿甲弹采用尾翼稳定，其飞行弹体的长径比可达 20:1~30:1，可以获得更大的断面密度，从而提高了穿甲威力，这是旋转稳定弹丸所无法相比的。

杆式穿甲弹的初速一般为 1400~1800 m/s，是所有火炮弹丸中的佼佼者。弹丸初速提高，使得动能增加、威力增加、飞行时间缩短，从而提高了命中概率。

杆式穿甲弹已被公认为是当前最有效的反坦克弹种之一。

1) 基本构造

目前存在滑膛炮发射和线膛炮发射的两种尾翼稳定超速脱壳穿甲弹，其结构也大致相仿，均由弹丸和装药部分组成（图 3-2-20）。

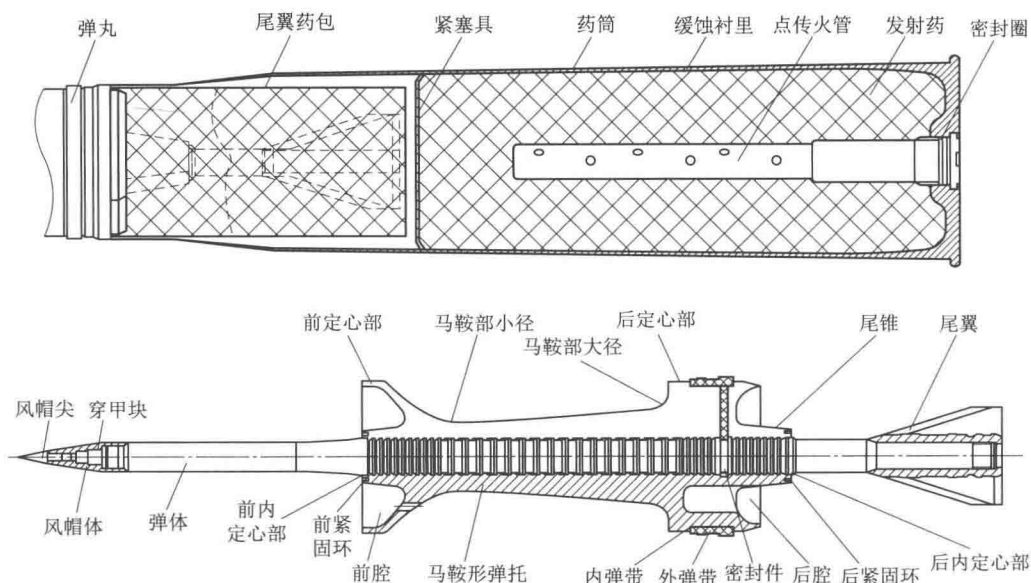


图 3-2-20 尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的典型结构

弹丸由飞行部分和脱落部分组成。弹丸出炮口后，飞行部分与脱落部分分离，即脱壳，飞行部分飞向目标。

① 飞行部分。飞行部分一般由风帽、穿甲头部、弹体、尾翼、曳光管等组成。

弹体是穿甲作用的主体，其材料的性能及结构决定了穿甲能力。目前弹体常使用穿甲能力强的高密度、高强度钨合金或贫铀合金材料，其长径大小决定其穿甲能力。

穿甲头部是位于弹体前端和风帽内的穿甲块，在穿甲过程中穿甲块有防止弹体过早碎裂的作用。穿甲块的大小和个数，可根据弹体的直径和对付的目标来确定，其材料多与弹体相同。穿甲块头部有利于对付间隙装甲、复合装甲。

尾翼起飞行稳定作用，一般使用铝合金材料。右旋线膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹，尾翼在膛内由弹体带动旋转，而在膛外则由尾翼提供导转力矩带弹体旋转。

② 脱落部分。脱落部分在炮口附近与飞行部分分离，并在一定的区域内落地。

脱落部分一般由弹托、弹带、密封件、紧固件等组成。

弹托是尾翼稳定脱壳穿甲弹的一个关键零件，占脱落部分 95% 以上的质量。

能否实现迅速、顺利地脱壳，取决于弹托的结构。目前，脱落部分的脱壳方式主要有离心力脱壳、火药燃气压力脱壳、空气阻力脱壳、升力脱壳。

根据不同的需要，可采用不同的脱壳方式。一般来说，旋转稳定脱壳穿甲弹采用离心力脱壳；尾翼稳定脱壳穿甲弹采用后三种脱壳方式之一或是其综合方式。脱壳均要求一致性好、脱壳迅速和危险区域小。

弹带是密封弹丸与炮膛之间的间隙，可以防止火药燃气逸出。

紧固环的作用是将弹托的各瓣紧固在弹体上，使之成为一个整体。当弹丸出炮膛后，在其预先设计的断裂槽处，应尽快断裂并留在弹托各瓣的紧固环槽内，以减少干扰保证脱壳顺利。

③ 装药部分。装药部分一般由发射药、药筒、点传火管、尾翼药包（筒）、缓蚀衬里、紧塞具等组成。

2) 穿甲过程

杆式穿甲弹初速高、长径比大，侵彻威力远超其他动能穿甲弹。一般认为，杆式穿甲弹的弹丸在穿甲过程中边破碎边穿甲，属于“破碎穿甲”。在这种情况下，破碎的弹体和装甲破片将沿弹坑壁面反向飞溅，并形成大于弹径的穿孔（图 3-2-21）。

杆式穿甲弹的穿甲过程可以分为开坑、侵彻和冲塞三个阶段。

开坑阶段是从弹丸着靶到开坑形成，此时弹丸的撞击速度最高，撞击压力可达 10^4 MPa，远超金属材料的强度极限。这一阶段弹体和装甲金属发生破碎，向抗力较小的一侧飞溅，在装甲表面上形成一个口部不断扩大的坑。

弹体进入坑内，侵彻阶段开始。此时的撞击压力仍然很大，弹体还是边破碎边飞溅。装甲金属被不断侵入的弹体所挤压，以很高的速度向侧面和表面方向运动，最后使表面和弹体之间的金属破裂、抛出，孔径增大。在侵彻阶段里，由于装甲抗力方向变化和弹丸的惯性运

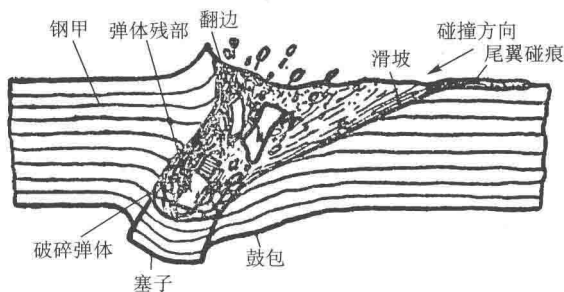


图 3-2-21 大着角下的穿甲情况

动，将出现一个弹丸“转正”的现象。这是杆式穿甲弹在大着角情况下不易跳飞的原因。当弹丸侵彻到一定深度后，在装甲背面出现鼓包。

冲塞阶段是穿甲过程的后期，此时弹丸因速度降低不再破碎，装甲的抗力减小，装甲背面的鼓包因惯性继续增大。最后，在最薄弱处剪切下一个钢塞，残余弹体和碎片以剩余速度从孔中喷出。至此，杆式穿甲弹完成了全部穿甲过程。

3) 典型尾翼稳定脱壳穿甲弹

① 俄罗斯 115 mm 尾翼稳定超速脱壳穿甲弹。图 3-2-22 所示为俄罗斯 115 mm 滑膛炮用尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的结构示意。该弹由飞行弹体和弹托两部分组成。

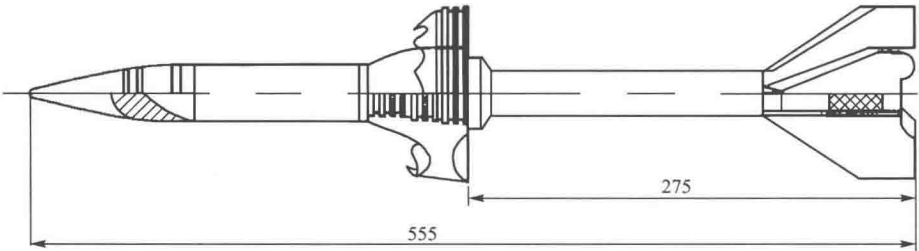


图 3-2-22 俄罗斯 115 mm 尾翼稳定超速脱壳穿甲弹

飞行弹体包括弹杆、风帽、被帽、尾翼、曳光管和压螺等零件。整体结构上，弹杆用 35 铬镍铝合金钢制成，尾翼兼有保证弹丸的飞行稳定和膛内定心作用，尾管上小孔保证尾管内外的压力平衡。在尾翼片后掠部位铣有一定角度的斜面，使弹丸在飞行中承受旋转力矩而旋转，从而提高弹丸的射击精度。

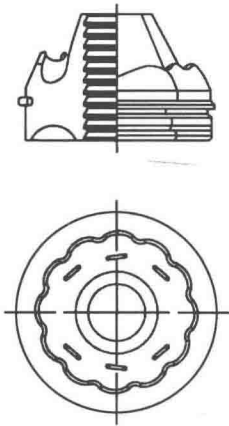


图 3-2-23 环形弹托

弹托部分包括三块呈 120° 的扇形卡瓣和闭气环（图 3-2-23）。卡瓣内环形锯齿形凸起与弹杆上的齿槽啮合。每块卡瓣上有两个与弹轴呈 40° 的漏气孔，使弹托在膛内获得炮口脱壳转速。在对着三块卡瓣接缝处的闭气环上制有削弱槽，以保证弹丸出炮口后使卡瓣与飞行弹体可靠分离。

发射穿甲弹时，膛内的火药气体在推动弹丸向前运动的同时，也从弹托的六个斜孔中喷出，使弹托旋转并靠摩擦力带动飞行弹体旋转。

弹丸飞离炮口后，在离心力、火药气体压力和空气阻力的共同作用下，卡瓣挣脱闭气环，与飞行弹体脱离，完成脱壳过程。

② 以色列 105 mm 尾翼稳定超速脱壳穿甲弹。图 3-2-24 所示为是以色列 105 mm 线膛炮用尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的结构示意。

飞行弹体部分包括弹杆、穿甲块（三块）、风帽、尾翼（六片）、曳光管等。其中弹杆和穿甲块用钨合金制成的，弹杆上有 27 个锯齿形齿槽与弹托连接，铝合金的翼片焊接在尾管上。

弹托部分由三块呈 120° 的扇形卡瓣、滑动弹带（弹带和外弹带）、三爪橡胶密封圈和前、后紧固环等组成。

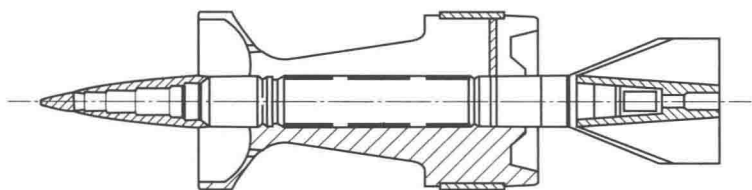


图 3-2-24 以色列 105 mm 线膛炮发射尾翼稳定超速脱壳穿甲弹

每一块铝合金卡瓣上均开有两个小直孔，用来改善弹丸在发射时的受力状态。

线膛炮采用了滑动弹带技术解决尾翼稳定弹丸的旋转速度问题。内弹带压入并粘在弹托上，外弹带套在内弹带上，用手可使二者相互转动。发射时外弹带嵌入膛线内高速旋转，并以内外弹带间产生的摩擦力带动弹芯做低速转动来保持其稳定飞行姿态。

(2) 贫铀穿甲弹

贫铀穿甲弹弹芯采用的是由 0.75% 钛和贫铀组成的贫铀合金（图 3-2-25），它具有弹性模量小、韧性好、硬度高、密度大、穿甲时不易断裂、在撞装甲时具有自锐特性、命中目标后进行高温燃烧的特点，比钨合金弹芯穿甲能力提高 10% ~ 20%。但是贫铀弹后效污染大，对乘员身体健康有影响。

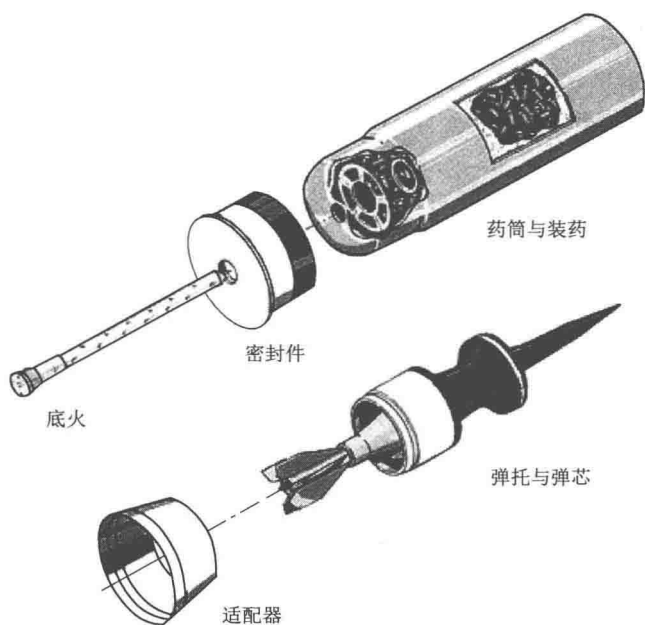


图 3-2-25 贫铀弹结构

美国从 1975 年开始投产贫铀弹并装备部队，所产贫铀弹主要包括以下 5 个口径：20 mm、25 mm、30 mm、105 mm 和 120 mm。120 mm 坦克炮配用 M829 系列尾翼稳定脱壳穿甲弹，而 105 mm 坦克炮配用 M900 式尾翼稳定脱壳穿甲弹。

M829 式穿甲弹为定装式长杆式侵彻弹，用于对付敌方装甲目标，其改进型 M829A1 式炮弹贫铀弹芯长径比为 20 : 1，初速为 1 675 m/s，在 2 000 m 的距离上可击穿 550 mm 厚的均质钢装甲板。1992 年的改进型 M829A2 式炮弹，其弹托采用碳-环氧树脂复合材料制造，

并采用新的机械加工工艺来改进贫铀侵彻弹芯的结构性能。与 M829A1 式炮弹相比，M829A2 式的初速提高了将近 100 m/s，该炮弹在 2 000 m 距离上的穿甲深度为 730 mm。

美国在 M1A1 主战坦克上装备过三种贫铀穿甲弹。第一次海湾战争中，贫铀穿甲弹在穿透 T-72 主装甲或炮塔后，仍能破坏车内设备。目前美军装备的 120 mm 贫铀穿甲弹为 M829A1 式和 M829A2 式。

贫铀穿甲弹目前已发展到第四代，美、英、法、德、俄等国均有装备。

(二) 破甲弹

在第二次世界大战前期，有人发现在炸药装药凹槽上衬以薄金属罩时，装药产生的破甲威力大大增强，由此聚能效应得到广泛应用。1936—1939 年，西班牙内战期间，破甲弹开始得到应用。随着坦克装甲的发展，破甲弹出现了许多新的结构，如串联聚能装药破甲弹、炸药装药中加杀伤元素或燃烧元素等随进物的破甲弹、防止错位式抗旋药型罩和旋压药型罩等。

破甲弹和穿甲弹是两种击毁装甲目标的最有效的弹种，穿甲弹靠弹丸或弹芯的动能来击穿装甲，只有高初速火炮才适于配用；破甲弹是靠成型装药的聚能效应压垮药型罩，形成一束高速金属射流来击穿装甲，不要求弹丸有很高的弹着速度。因而，破甲弹能够泛应用在各种加农炮、无坐力炮、坦克炮以及反坦克火箭筒上。

1. 破甲弹作用原理

破甲弹又称聚能破甲弹或空心装药破甲弹，它是一种利用空心装药方式，以爆炸时产生的高温熔解金属药罩所产生的聚能金属射流进行穿甲的炮弹，是目前主战坦克必备的弹种之一。

(1) 聚能效应

在同一块靶板上安置 4 个不同结构形式但外形尺寸相同的药柱（图 3-2-26），使用相同的电雷管分别引爆后，圆柱形装药只在靶板上炸出了浅坑；带有锥形凹槽的装药炸出了深坑；锥形凹槽内衬有金属药型罩的装药，炸出了深洞；锥形凹槽内衬有金属药型罩且药型罩距靶板一定距离的装药却穿透靶板，形成了入口大、出口小的喇叭形通孔。

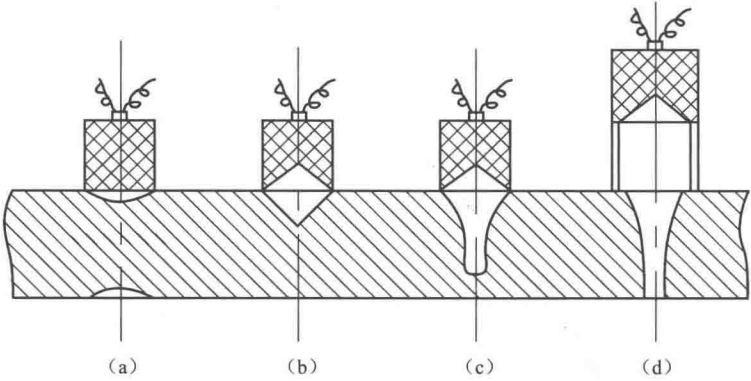


图 3-2-26 不同装药结构对靶板的破坏效果

(a) 圆柱形装药；(b) 锥形凹槽装药；
(c) 锥形装药；(d) 距靶板一定距离的锥形装药

由爆轰理论可知，一定形状的药柱爆炸时，产生的高温、高压的爆轰产物将沿炸药表面的法线方向向外飞散，不同方向上炸药爆炸的能量也不相同。因此，可以根据确定角平分线的方法确定作用在不同方向上的有效装药（图 3-2-27）。圆柱形装药作用在靶板方向上的有效装药仅是整个装药的很小部分，又由于作用面积较大，因而能量密度较小，其结果只能在靶板上炸出很浅的凹坑。然而，当装药带有凹槽后（图 3-2-28），凹槽并没有使有效装药量减少，并且凹槽部分的爆轰产物也将沿装药表面的法线方向向外飞散，并且互相碰撞、挤压，汇成一股高压、高速和高密度的气体流。由于气体流对靶板的作用面积减小，能量密度提高，故能炸出深坑。这种利用装药一端的空穴使能量集中从而提高爆炸后局部破坏作用的效应就称为“聚能效应”。

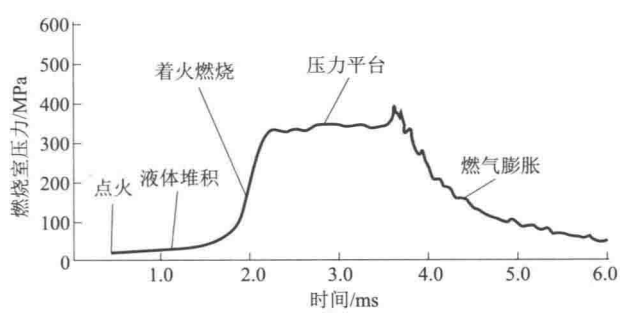


图 3-2-27 柱形装药爆轰产物的飞散

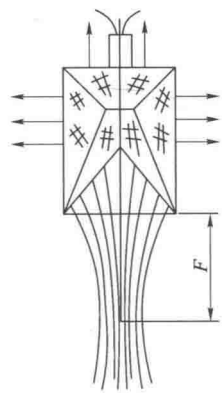


图 3-2-28 无罩聚能装药爆轰产物的飞散

在气体流的汇集过程中会出现直径最小、能量密度最高的气体流截面（图 3-2-28），借鉴光学概念，称该截面为“焦点”，而焦点至凹槽底端面的距离称为“焦距”（图中的 F ）。气体流在焦点处能量密度最高，适当提高装药至靶板的距离可以获得更好的爆炸效果。装药爆炸时，凹槽底端面至靶板的实际距离常称为“炸高”。

如锥形凹槽内衬有金属药型罩，当炸药爆炸时，汇聚的爆轰产物压垮药型罩，使其在轴线上闭合形成能量密度高的金属射流，从而增加对靶板的侵彻深度。

(2) 金属射流的形成

当带有金属药型罩的装药被引爆后，爆轰波从装药底部向前传播，所到之处，炸药爆轰，产生高温高压的爆轰产物。当爆轰波传到药型罩顶部时，爆轰产物以很高的压力冲量作用于药型罩顶部，促其高速变形，这种变形从药型罩顶间到底部相继发生，速度（压垮速度）很快，可达 $1\,000\sim3\,500\text{ m/s}$ 。在药型罩被压垮的过程中，药型罩微元也是沿罩面的法线方向做塑性流动，并在轴线上汇合后沿轴线方向运动（图 3-2-29）。

试验和理论分析都已表明，药型罩闭合后，罩内表面金属的合成速度大于压垮速度，因而形成金属射流（简称射流）；而罩外表面金属的合成速度小于压垮速度，从而形成杵状体（简称杵体）。射流的头部速度可达 $7\,000\sim10\,000\text{ m/s}$ ，杵体的速度一般为 $500\sim1\,000\text{ m/s}$ 。

(3) 破甲作用

金属射流质量一般占药型罩质量的 $10\%\sim30\%$ ，速度很高，因而动能很大，射流即依靠这种动能来侵彻与穿透靶板的。

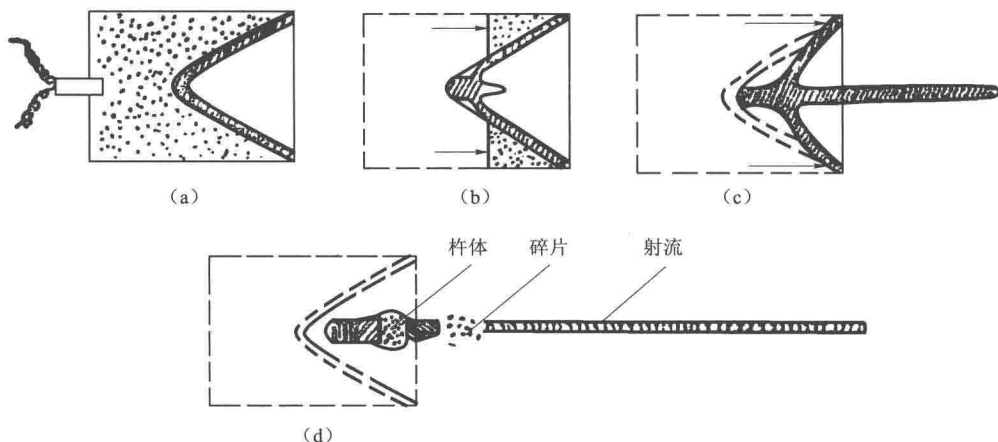


图 3-2-29 金属射流的形成

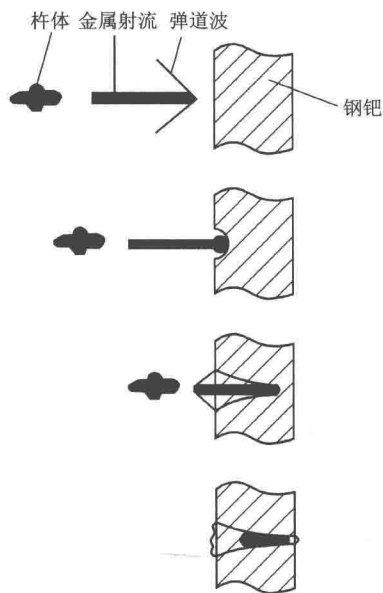


图 3-2-30 金属射流的破甲过程

金属射流对靶板的侵彻过程，大致可以分为以下三个阶段（图 3-2-30）。

1) 开坑阶段

当射流头部冲击靶板时，冲击点的高压和所产生的冲击波使靶板自由界面崩裂，并使靶板和射流残渣飞溅，而且在靶板中形成一个高温、高压、高应变率的区域，简称为“三高区”。此阶段所形成的孔深只占整个孔深的很小部分。

2) 准定常侵彻阶段

在这一阶段中，射流对三高区状态的靶板进行侵彻破孔。侵彻破甲的大部分破孔深度是在此阶段形成的。由于此阶段中的破击压力不是很高，射流的能量变化缓慢，破甲参数和破孔的直径变化不大，基本上与时间无关，故称为准定常侵彻阶段。

3) 终止阶段

在终止阶段，射流速度已经很低，破甲速度减小，扩孔能力下降，后续射流推不开前面的射流残渣，不能作用于靶孔的底部，影响侵彻破甲的进行；破甲后期，射流出现失稳（颈缩和断裂），影响破甲性能。当射流速度低于“临界速度”（射流开始失去侵彻能力的速度），已不能继续侵彻破孔，而是堆积在坑底，破甲过程结束。

杵体速度较低，一般不能起破甲作用，即使在射流穿透靶板的情况下，杵体也往往留在破孔内。

2. 典型结构

早期的成型装药破甲弹，多采用旋转稳定方式，其外形与普通炮弹基本上一致。试验数据表明：当弹丸转速分别为 100 r/s、300 r/s 时，其破甲深度相当于弹丸不转时的 50% 和 30%。为解决弹丸的高速旋转运动造成的金属射流的失稳问题，许多国家都进行了许多抗旋

结构研究或采用了不旋转的或微旋的尾翼式稳定结构。

虽然破甲弹的形式多种多样，但是，其结构大都分为弹体、炸药装药、药型罩、隔板、引信和稳定装置等部分，差别主要反映在火炮发射特点、弹形和稳定方式上。

从稳定方式来看，目前所装备的破甲弹有旋转稳定式和尾翼稳定式两种。

(1) 具有抗旋结构的旋转稳定破甲弹

1) 美国 152 mm 多用途破甲弹

美国 152 mm XM409E5 式多用途破甲弹是 20 世纪 60 年代末期的产品，装备于 152 mm 坦克炮上。所谓多用途破甲弹，是指该弹以破甲为主，兼具榴弹的杀伤爆破作用（图 3-2-31）。

XM409E5 式多用途破甲弹采用错位抗旋药型罩来克服弹丸旋转对破甲性能的影响。这种错位抗旋药型罩是采用先冲压后挤压的方法制成的（图 3-2-32），其由 16 个圆锥扇形块组成，每个圆锥扇形块对应圆心角约为 $21^{\circ}16'$ 。当炸药爆炸时，每一扇形块都由于错位而使压垮速度的方向偏离轴线并与半径为 r 的圆弧相切，形成的金属射流将是旋转的，并且旋转方向与弹丸的旋转方向相反，由此可抵消或减弱弹丸旋转运动对破甲性能的影响。

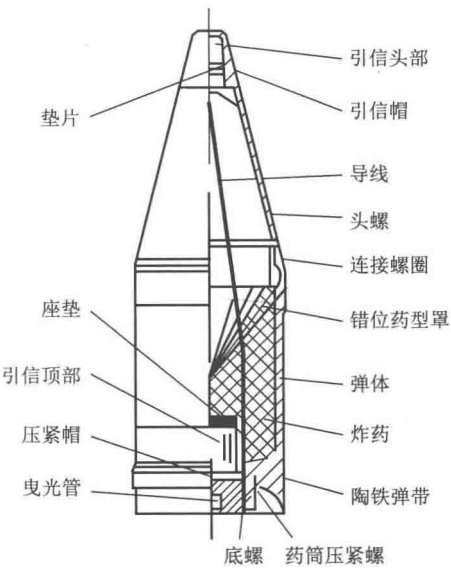


图 3-2-31 美国 152 mm 多用途破甲弹

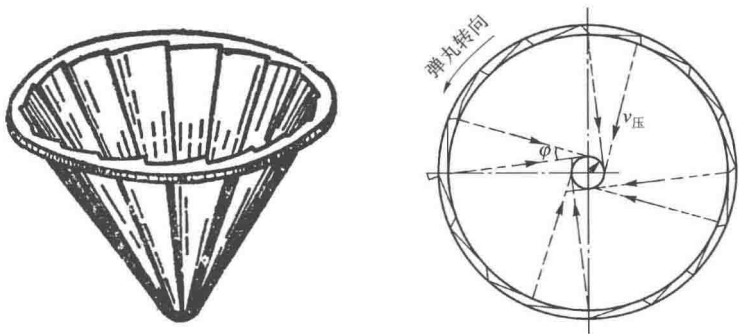


图 3-2-32 错位抗旋药型罩及抗旋原理示意

2) 法国 105 mm 破甲弹

法国 105 mm 破甲弹装备于法国 AMX-30 主战坦克的 105 mm 坦克炮上，在 105 mm 口径的各种加农炮和榴弹炮上可以通用，其结构如图 3-2-33 所示。

该弹将聚能装药与弹体分开，并在两端设置滚珠轴承。该破甲弹发射时，虽然弹体做高速旋转运动，但装药部分却因惯性作用而不旋转或低速旋转，从而减小了对破甲的影响。平时，在弹体与装药之间用脆弱元件锁住，防止它们之间的相对转动。为减小轴承在发射时的受力，在弹丸底部还设有通气孔。

(2) 长鼻式破甲弹

长鼻式破甲弹因其瓶状结构的特殊弹形而得名，其采用滑动弹带技术，同样由线膛炮发

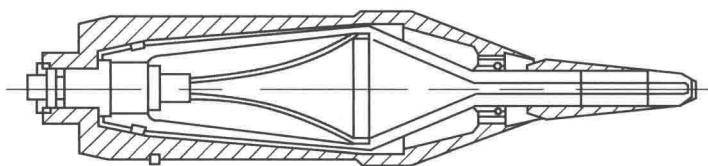


图 3-2-33 法国 105 mm 破甲弹

射，并抵消旋转的不利影响。

长鼻式破甲弹的结构形式很多，瑞典 84 mm 破甲弹、西德 DM-12 式 120 mm 破甲弹和我国 100 mm 破甲弹等都有各自的特点。

瑞典 84 mm 破甲弹（图 3-2-34）以尾部的圆筒代替尾翼，并使弹丸质心位于压力中心之前，从而保证飞行稳定。该弹既可用于滑膛炮，也可用于线膛炮。

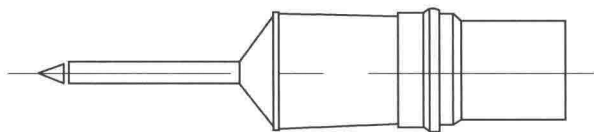


图 3-2-34 瑞典 84 mm 破甲弹

西德 DM-12 式 120 mm 破甲弹（图 3-2-35）采用了固定尾翼稳定装置。该弹在提高破甲性能的同时，大大提高了其杀伤作用，使长鼻式破甲弹具有了多用途弹的性能。

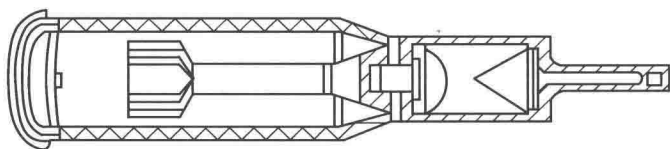


图 3-2-35 西德 DM-12 式 120 mm 破甲弹

我国 100 mm 破甲弹用于 53 式 100 mm 线膛加农炮和坦克上，主要用于对付坦克和装甲车辆，其结构如图 3-2-36 所示。

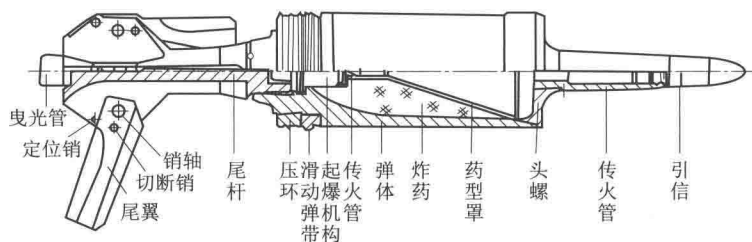


图 3-2-36 我国 100 mm 破甲弹

(3) 尾翼稳定破甲弹

尾翼稳定破甲弹和尾翼稳定穿甲弹的稳定方式相同，都是利用尾翼稳定弹丸飞行姿态的。

图 3-2-37 所示为美国 20 世纪 60 年代 M348A1 式 90 mm 定装式尾翼稳定空心装药破甲弹，它由滑膛炮发射，用于攻击装甲目标。

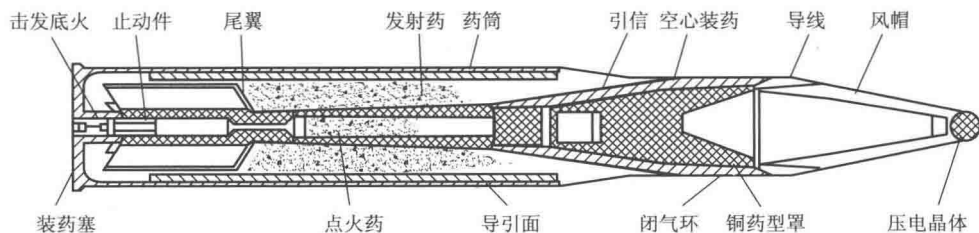


图 3-2-37 尾翼稳定破甲弹

全弹由弹丸和药筒构成。弹丸由风帽、弹头激发弹底起爆引信、弹体、铜药型罩、空心装药、闭气环和尾翼装置组成。装点火管的尾翼装置由螺纹与弹尾部连接，并延伸到药筒内发射装药中。尾翼装置上还拧装有止动件。装在药筒底部的底火拧装到止动件上。止动件内还拧装有与药筒齐平的击发底火。药筒里面有导引面，用于尾翼定位。

破甲弹命中目标时，引信作用，从而起爆空心装药，压垮药型罩，形成高速冲击波和金属射流穿透装甲目标。

图 3-2-38 所示为另外一种尾翼稳定破甲弹，它利用火药气体的压力推动活塞使尾翼张开，因此称为气缸式尾翼破甲弹。

气缸式尾翼破甲弹的弹体由头螺、弹体壳、弹底和螺塞等零件组成，它们之间均用螺纹连接。

炸药一般选用梯/黑（50/50）炸药或以黑索金为主体的混合炸药或其他高能炸药。炸药的装填可采用铸装、压装或其他装药方法。

药型罩是形成聚能金属射流的关键零件，其形状有圆锥形、截锥形、双锥形、喇叭和扇状错位形等，但常用的是圆锥形药型罩。

隔板是改变爆轰波形，从而提高射流速度的重要零件，一般用塑料制成。

该弹的稳定装置由活塞、尾翼、尾翼座和销轴等零件构成。活塞安装在尾翼的中心孔内，尾翼以销轴与尾翼座相连，翼片上的齿形与活塞上的齿形相啮合。平时 6 片尾翼相互靠拢；发射时高压的火药气体通过活塞上的中心孔进入活塞内腔。弹丸飞离炮口后，由于外面的压力骤降，活塞内腔的高压气体推动活塞运动，通过相互啮合的齿使翼片绕销轴转动，向前张开并呈后掠状。

气缸式尾翼破甲弹翼片张开迅速、同步性好、作用可靠、射击精度高，但是，结构较为复杂，加工精度要求也高。

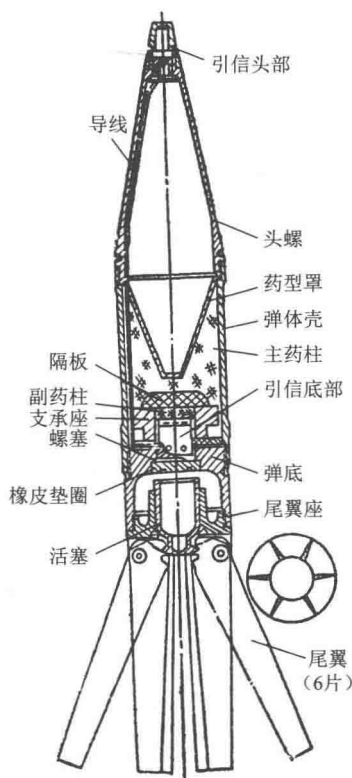


图 3-2-38 气缸式尾翼破甲弹

(4) 多级串联复合聚能装药战斗部

成型装药战斗部的出现促进了反应式装甲的产生与发展。反应式装甲是一种防御成型装药破甲弹的爆炸式装甲。它是在两层钢板中间夹有一层炸药，披挂到车辆的主装甲上。当这种装甲被成型装药破甲弹击中后，中间炸药即被射流引爆，爆炸块的前后钢板沿其法线方向高速飞出，对成型装药射流产生干扰和削弱作用，从而保护了坦克车装甲。以色列在 1982 年入侵黎巴嫩的战争中最先在较老的 M60、M48 等坦克上采用此技术，提高了坦克生存力。

为了对付反应式装甲，各种串联装药战斗部应运而生，如两个破甲弹串联、破甲弹与穿甲弹结合、穿甲弹与穿甲弹串联等，其共同的战术目标是：首先击毁附加的反应式装甲，然后侵彻主装甲。

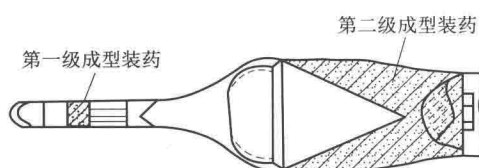


图 3-2-39 破/破式串联战斗部示意

图 3-2-39 所示为两个成型装药构成的串联战斗部，第一级装药的聚能射流起爆反应式装甲的炸药诱使反应式装甲金属板飞离，第二级成型装药射流侵彻坦克主装甲。

预计串联式战斗部将向着穿/破、破/穿、穿/穿的方向发展，并会以重金属碳化钨或贫铀作为弹芯或药型罩的材料。

俄 T-90 主战坦克上使用的 3BK29 型破甲弹采用三级串联式。

(三) 碎甲弹

碎甲弹是 20 世纪 60 年代发展起来的新型反坦克弹种，在英国被称为“碎头弹”，是一种利用塑性炸药在装甲表面爆炸，在装甲背面产生强烈崩落效应的炮弹。

1. 碎甲作用原理

碎甲弹对装甲的破坏过程如图 3-2-40 所示。

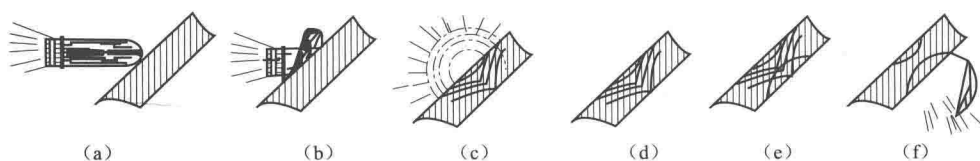


图 3-2-40 碎甲弹的作用过程

- (a) 碎甲弹飞向装甲目标；(b) 在撞击目标瞬时弹体变形；(c) 碎甲弹爆炸，压缩波在装甲内部传播；
(d) 压缩波从装甲背面反射而产生拉伸波；(e) 压缩波和拉伸波相遇而在装甲内部产生裂纹；
(f) 在装甲背面崩落出碟形破片及其他小破片

在碎甲弹碰击目标瞬间，惯性作用使弹头部受压变形，随之炸药装药被堆积于装甲表面；经过一定的延时后，引信起爆而引爆炸药；炸药爆炸时产生冲击波，冲击波在向装甲内部传播时，在装甲内部形成压缩波；当压缩波传至装甲背面时，由于介质对波的反射作用，在装甲内又形成反射回来的拉伸波；这种拉伸波与后面继续传来的压缩波相遇时会相互叠加，对装甲产生很大的叠加应力；当应力超过装甲材料的许用拉伸极限时，装甲内部产生裂纹，继而背面崩落一块几十毫米大的碟形碎片和许多小的碎块，这些碎块和碎片以每秒几百米的速度四散飞出，引起极大的杀伤破坏作用。

2. 结构特点

碎甲弹的结构比较简单,如图 3-2-41 所示,它由弹体、炸药装药、底螺和引信等组成。碎甲弹弹丸较短,弹体圆柱部很长,是碎甲弹的定心部分,有利于提高射击精度。很短的弹头部呈尖拱形,有利于减小飞行时的空气阻力和增加弹丸着靶时的炸药堆积面积。

碎甲弹弹头部壁厚较薄,便于弹体变形堆积。从弹头部到尾部壁厚逐渐增加,以便于固定弹带。此外,适当增加弹尾质量以增加前冲动能,有利于弹丸着靶时炸药堆积。

碎甲弹内主要装填猛度较高、感度低的塑性炸药。有的碎甲弹在头部装一部分威力小且感度极低的弹性炸药,用它来抗击摩擦;在中部装塑性炸药用来碎甲。

碎甲弹一般采用机械式惯性引信,它能自动调整起爆时间。

3. 性能特点

碎甲弹是使炸药的能量通过波动的形式向装甲板内传播,使装甲板背面产生局部崩落。碎甲弹并不穿透装甲,而是利用崩落下来的装甲碎片在车辆内部进行杀伤和破坏,适用于对付倾角大的中厚均质装甲,以及钢筋混凝土建筑物等目标。碎甲弹在命中角较小时也不易跳飞,在倾斜的装甲上更易形成较大的炸药堆积面积,破甲效果好,对坦克的行动部分破坏效果也很好,但对复合装甲或间隔装甲不起作用。

碎甲弹结构简单,生产方便、成本低。

(四) 榴弹

榴弹是弹丸内装有猛炸药,依靠弹丸内炸药爆炸后气体的膨胀功和弹丸破片的动能直接进行杀伤和爆破的炮弹。

16 世纪中叶,英国人什拉波聂里将原来火炮的实心弹改装成装有许许多多金属弹子的炮弹,炮弹落地后发生爆炸,弹子、弹片四处飞散,杀伤力比原来的实心弹提高数倍。这种炮弹因为像石榴一样多籽,遂被称为“榴弹”,也叫开花弹。

榴弹是弹药家族中用途最广的弹种,属于战术进攻型压制武器。发射后,弹上引信适时控制弹丸爆炸,用以压制、毁灭敌方的集群有生力量、炮兵阵地、机场设施、指挥通信系统、雷达阵地、地下防御工事、坦克装甲车辆、水面舰艇群等目标。

按作用原理,榴弹可分为杀伤榴弹、爆破榴弹和杀伤爆破榴弹;按对付的目标,榴弹可分为对付地面目标的地炮榴弹和付空中目标的高炮榴弹;按弹丸稳定方式,榴弹分为旋转稳定榴弹和尾翼稳定榴弹。

1. 榴弹的一般构造

坦克装甲车辆常用的地面榴弹一般由弹丸、引信和发射装药等三大部分组成(图 3-2-42)。榴弹弹丸的外形为回转体,由弹头部、圆柱部和弹尾部等三部分组成;弹体内腔盛的炸药。

弹头部是母线为圆弧的旋转体,外形尖锐,以减小空气阻力。

圆柱部是指上定心部至弹带间的距离,也称导引部,有上、下定心部和 1~2 条弹带,它们能使弹丸在膛内沿轴向正确运动。

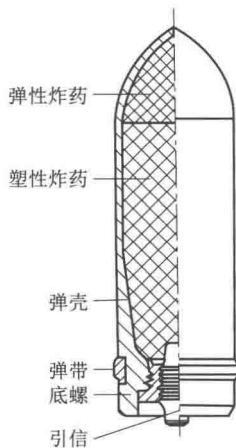


图 3-2-41 碎甲弹

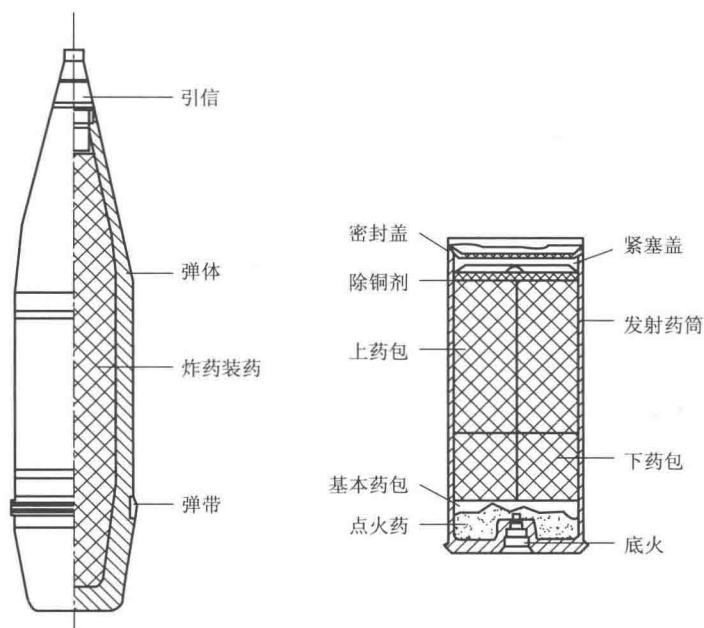


图 3-2-42 榴弹结构

弹带的用途是发射时在膛内传递扭矩，使弹丸获得旋转运动。
弹尾部一般呈船尾形，以适应飞行时空气环流的形状而减小尾部的涡流阻力。
弹体内腔有药室，药室内装猛炸药，榴弹的爆破威力与所装的炸药量和炸药性能有关。

2. 榴弹的作用

榴弹依靠炸药爆炸后气体的膨胀功和弹丸破片的动能来毁伤目标，前者称为爆破作用，后者称为杀伤作用。榴弹的弹丸利用其动能侵入各种介质进行毁伤的功能称为侵彻作用。

通常所称的杀伤榴弹、爆破榴弹和杀伤爆破榴弹之间并无严格区别，只是分别偏重于杀伤作用、爆破作用及二者兼而有之。

(1) 侵彻作用

弹丸利用其动能侵入介质的过程，对于爆破弹和杀伤爆破弹都具有十分重要的意义。例如，弹丸击中某土木工事后，迅速侵入土壤或障碍物中一定深度（图 3-2-43），引信才开始引爆炸药，爆炸时产生高温、高压气体和冲击波猛烈冲击周围的介质，并把上部的工事掀掉，炸出一个大坑。在此过程中，弹丸完成侵彻与爆破作用，破坏工事主要靠爆破作用，而侵彻是为了发挥更大的爆破效果。

(2) 爆破作用

弹丸爆炸瞬间产生高温、高压的爆轰产物，爆轰产物向四周猛烈膨胀，除弹体破裂碎片迅速飞散外，爆轰产物还作用于周围介质或目标本身，从而毁伤目标，此即弹丸的爆破作用。

弹丸在岩土中爆炸时，其破坏情况分为压缩区、破坏区和震撼区（图 3-2-44）。

(3) 杀伤作用

弹丸杀伤作用的大小主要取决于弹丸形成破片的数量，以及破片飞散速度的大小及方向。当炸药量和炸药猛度提高时，破片数将增多；当弹体金属强度极限和延伸率增加时，破片将减少。

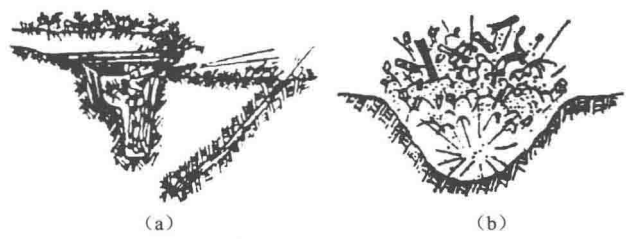


图 3-2-43 榴弹对工事的破坏区
(a) 侵入土地一定深度；(b) 弹丸爆炸

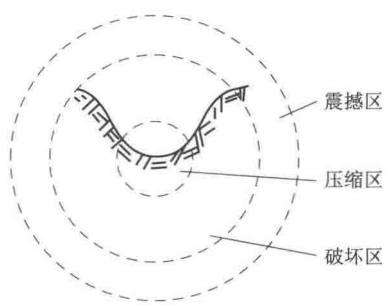


图 3-2-44 爆炸时榴弹的破坏情况

为了有效地杀伤隐蔽在战壕内的敌人，榴弹的引信装定成“延期”，并采用小射角的跳弹射击法，在空中爆炸可使杀伤效果提高一倍以上。

3. 普通榴弹

(1) 爆破榴弹

爆破榴弹的主要用途是破坏土木结构的野战工事（如指挥所和观察所）、钢丝网和布雷区，有时也和混凝土破坏弹共同使用，来对永久性工事进行摧毁。

爆破榴弹的特点是炸药量多，且炸药的猛度大。一般来说，爆破弹只配备在大口径火炮上。

图 3-2-45 所示为几种近程爆破榴弹和远程爆破榴弹的示意。

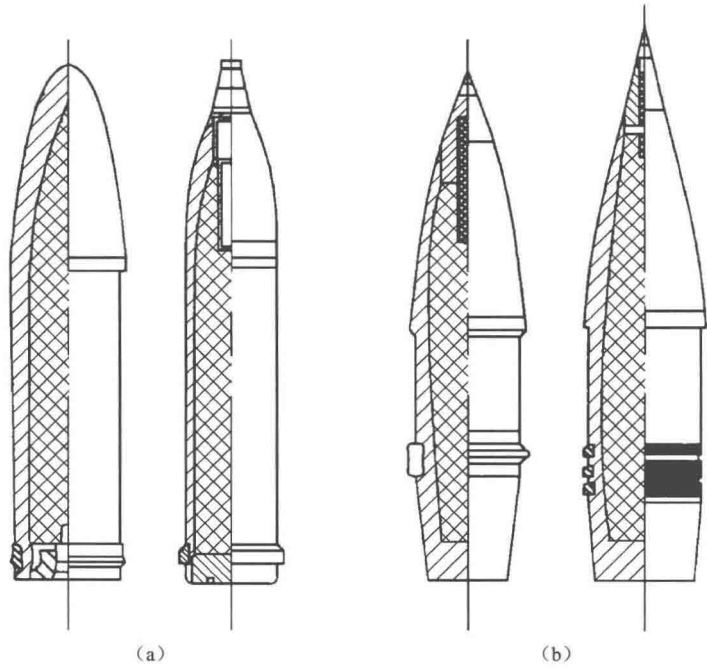


图 3-2-45 爆破榴弹
(a) 近程爆破榴弹；(b) 远程爆破榴弹

(2) 杀伤榴弹

杀伤榴弹主要用来杀伤暴露的和轻型掩体内的有生力量及器材，也用来在布雷区和铁丝网区开辟道路，以及破坏轻型野战工事，必要时还可对坦克、步兵战车等目标进行射击。

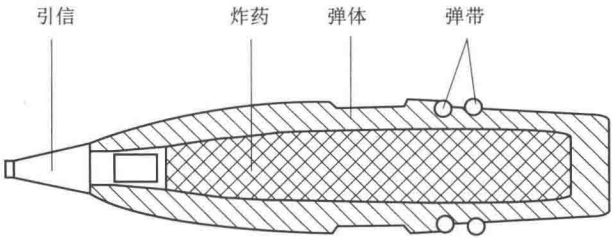


图 3-2-46 85 mm 杀伤榴弹

杀伤和破坏这类目标，主要依靠弹丸爆炸后形成的破片。在结构上，杀伤榴弹的弹壁较厚。

图 3-2-46 所示为 85 mm 杀伤榴弹示意。

(3) 杀伤爆破榴弹

杀伤爆破榴弹是介于爆破弹和杀伤弹之间的弹种，同时具有杀伤和爆破两种作用，广泛用于中口径以上的火炮上。

在一般情况下，小口径杀伤爆破榴弹是以杀伤作用为主，爆破作用为辅；而大口径杀伤爆破榴弹则是以爆破作用为主，杀伤作用为辅。

图 3-2-47 所示为 122 mm 杀伤爆破榴弹示意，图 3-2-48 所示为 100 mm 滑膛炮发射杀伤爆破榴弹。

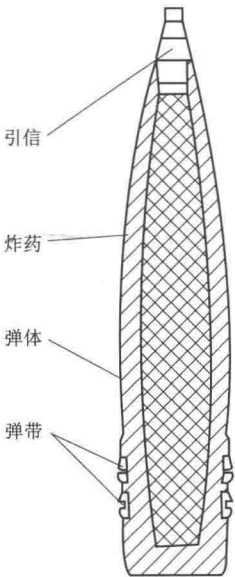


图 3-2-47 122 mm 杀伤爆破榴弹

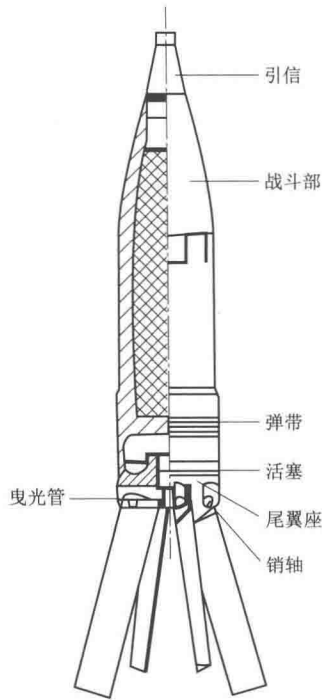


图 3-2-48 100 mm 杀伤爆破榴弹

4. 远射程榴弹

现代高技术条件下作战的特点之一是实现目标的远程精确打击和高效毁伤。在这种背景下，近年来出现了几种新型远射程榴弹。

(1) 底凹弹

底凹弹是指底部带有凹窝形结构的旋转稳定式炮弹，如图 3-2-49 所示，可用于杀伤爆破弹、子母弹和特种弹等，是 20 世纪 60 年代初由美国、法国开始采用的新式榴弹。底凹有“长底凹”和“短底凹”之分，有时还在底凹壁上对称地加工几个导气孔。

采用底凹结构，特别是有导气孔的底凹结构，可以减弱弹底涡流强度，使弹后空间能及时被周围空气填充，提高弹底压强；还可以减小弹头部及弹尾部压力差，减小空气阻力，使射程增加。

(2) 枣核弹

枣核弹的英文原意是空气动力优化弹丸，因其外形酷似枣核而得名。此种榴弹飞行阻力小、射程远。结构上该弹的最大特点是弹体无圆柱部，弹带与定心块一起组成膛内支撑面，弹体呈流线型，弹形系数小。全弹由尖拱弧形部和船尾部组成，尾部有底凹。

目前的枣核弹有两种形式：一种是全口径枣核弹，另一种是减口径枣核弹。

全口径枣核弹最早由加拿大于 20 世纪 70 年代研制成功，弹丸弧形部位安装了四个具有一定空气动力外形的定心块（图 3-2-50）。

在全口径枣核弹基础上发展起来的减口径枣核弹，其弹径尺寸比火炮口径的略小，射程却有所增加。射程增加主要是因为弹形进一步得到改善。图 3-2-51 所示即为这种弹的两种结构外形示意。

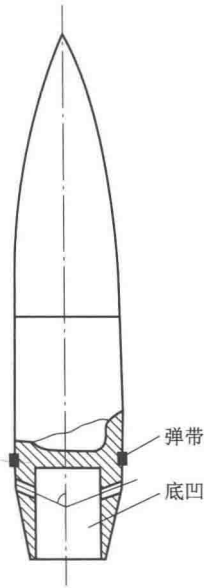


图 3-2-49 底凹弹

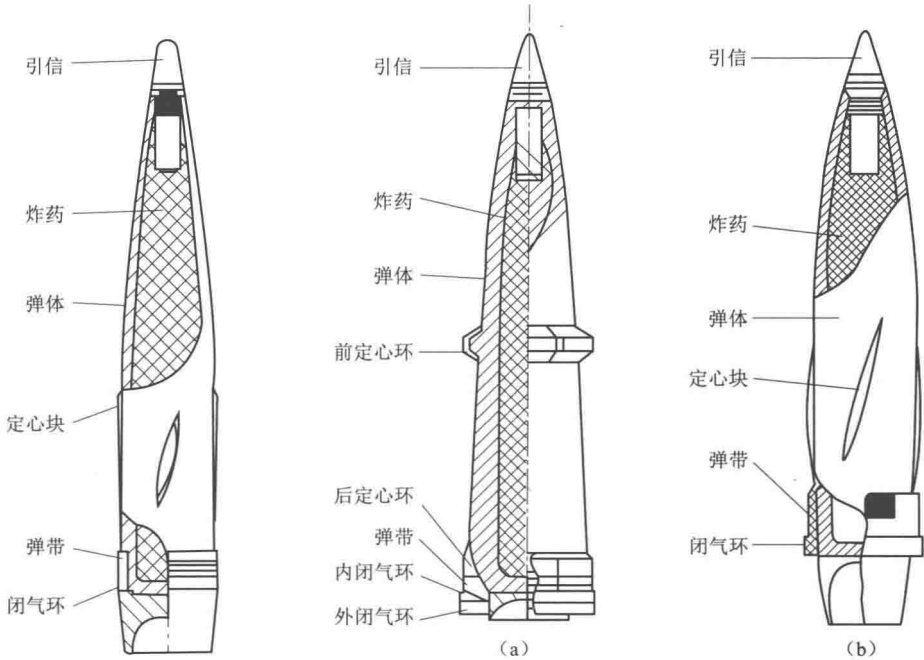


图 3-2-50 全口径枣核弹结构示意图

图 3-2-51 减口径枣核弹结构示意图

(a) 采用前后塑料定心环；(b) 采用定心块

(3) 火箭增程弹

火箭增程弹是在常规弹丸尾部加装一固体燃料火箭发动机，弹丸飞出炮口一段行程后，火箭发动机点火，赋予弹丸新的推力，使射程提高。火箭增程弹一般比普通榴弹可增程20%~30%。

火箭增程弹一般由引信、弹体、装填物、火箭发动机组成。火箭发动机与弹体底部连接，由发动机壳体、火箭推进剂、点火系统和喷管组成。

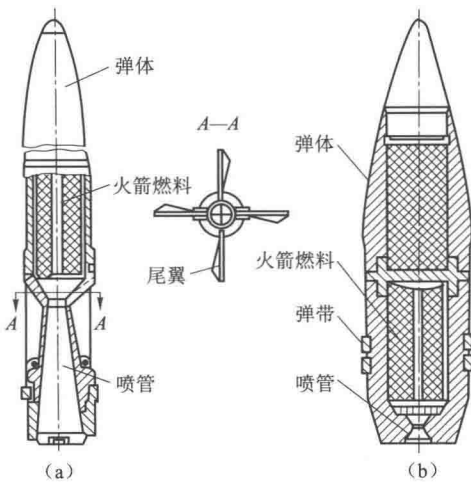


图 3-2-52 火箭增程弹

(a) 尾翼稳定；(b) 旋转稳定

装置内装的可燃物质（称为底排药）在低压下燃烧时排出的气体来填充因弹丸运动所形成的弹底低压区，提高该区的压力，从而增大弹丸的射程。

底排榴弹都是旋转稳定弹丸，外形上主要有圆柱形和枣核形两种形式（图 3-2-53）。圆柱形底排榴弹由卵形头部、圆柱部、船尾部、定心部、弹带和底排装置组成。枣核形底排榴弹由卵形头部、船尾部、定心部、弹带和底排装置组成。

底排弹结构较简单，生产成本较低，是一种性能较好的远程榴弹，现已受到国内外广泛重视。

底部排气技术和火箭助推技术是已被人们所熟知的两种有效的增程技术，已分别在多种口径弹上得以应用。将两者同时应用到同一弹丸上，就产生了一种新的远程榴弹：底排-火箭

火箭增程弹被击发后，在火炮发射药的燃气压力推动下在膛内运动，同时点燃延期点火装置的点火药，弹丸飞出炮管，延期药烧完；此时火箭发动机点火工作，火箭增程弹开始加速，直至火箭推进剂烧完，发动机停止工作；之后，火箭增程弹按惯性飞行至落点。

火箭增程弹有旋转稳定和尾翼稳定式两种（图 3-2-52），其喷管有单喷管式和多喷管式。

(4) 底部排气弹

底部排气弹在弹丸尾部装有排气装置，用于减小飞行底阻以增加射程。这种弹不是火箭弹，不对飞行的弹丸提供推力，而是通过排气

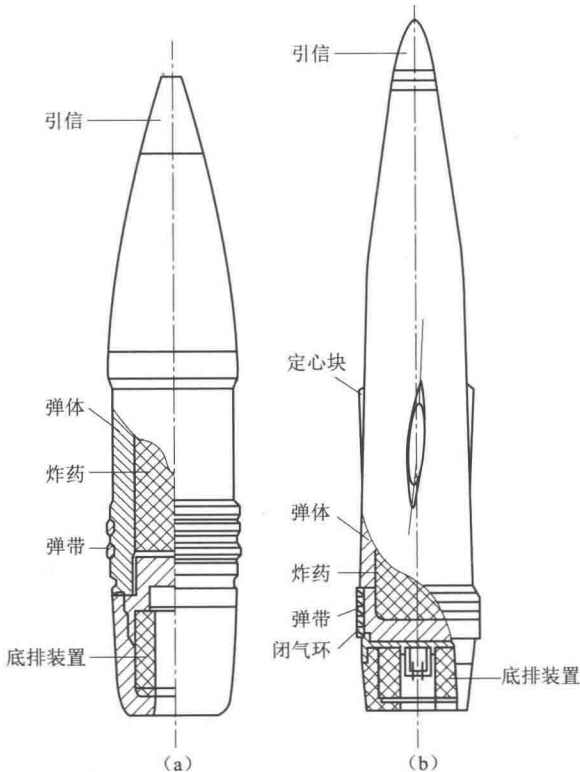


图 3-2-53 底部排气弹

(a) 圆柱形底排弹；(b) 枣核形底排弹

复合增程弹，它可以达到更大的射程。

(五) 其他弹药

1. 子母弹

子母弹是以一枚弹丸的弹体作为载体（母弹），内装一定数量的子弹。发射后，母弹在预定区域和高域开舱抛射子弹，然后子弹分别起爆，完成毁伤集群坦克、装甲车辆、技术装备，杀伤有生力量或布雷等任务。子母弹的威力大大超过普通榴弹，配用于中大口径火炮、迫击炮等。

子母弹主要由弹体、引信、抛射药、推力板、支杆、子弹和弹底等部分组成（图 3-2-54）。

弹体是装子弹的容器，称为母弹，在外形上与普通榴弹的相似。母弹内膛呈圆柱形，容积较大，其弹壁较薄，弹底通过螺纹或销钉与母体连接。

母体的引信一般为机械时间引信，下部放有装在塑料筒内的抛射药。当母弹飞到目标上空时，引信按装定的时间发火，点燃抛射药，将子弹推离母体并散于空中。

目前已出现杀伤子母弹（图 3-2-55）、布雷子母弹（图 3-2-56）、反装甲子母弹和发烟子母弹等子母弹。在导弹战斗部上子母弹也得到广泛应用。图 3-2-57 所示为具有底排装置的反装甲杀伤子母弹。

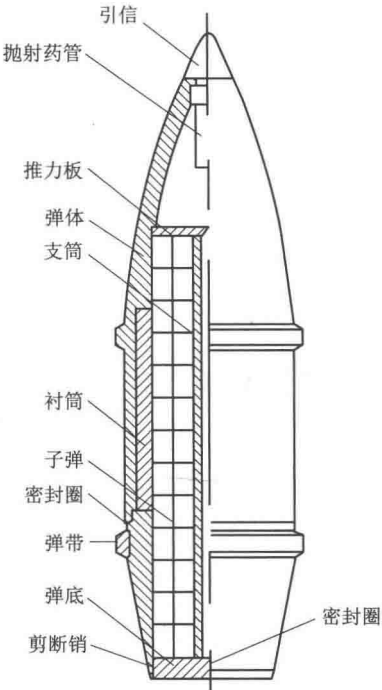


图 3-2-54 子母弹

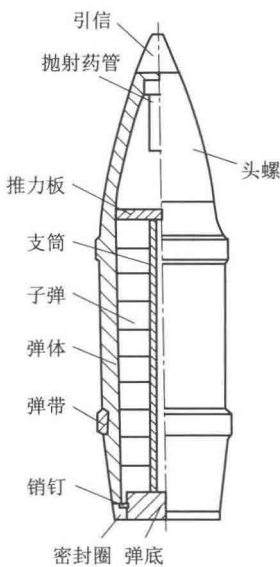


图 3-2-55 美国 M449 型
155 mm 杀伤子母弹

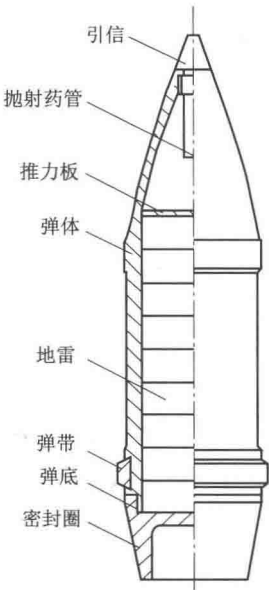


图 3-2-56 美国 M718 式
155 mm 反坦克布雷子母弹

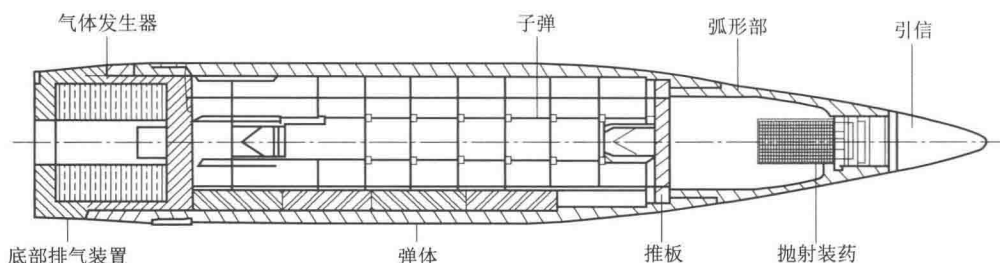


图 3-2-57 法国 G1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹

2. 末制导炮弹

末制导炮弹是在炮弹前部加装导引头，由火炮发射后能在弹道飞行末段实施导引、控制的炮弹。炮弹发射后，弹道前段与普通炮弹一样靠惯性飞行，在弹道末段则转入导引段飞行，炮弹前部的导引头接收从目标反射回的信号，然后导引炮弹准确飞向攻击的目标，具有很高的命中率。

末制导炮弹由发射药筒（或药包）和制导炮弹组成，其中发射药筒的结构与作用和普通炮弹的相同；制导炮弹部分一般分为制导段、战斗部段和控制段三部分。图 3-2-58 所示为美国 155 mm “铜斑蛇” 末制导炮弹结构示意图。

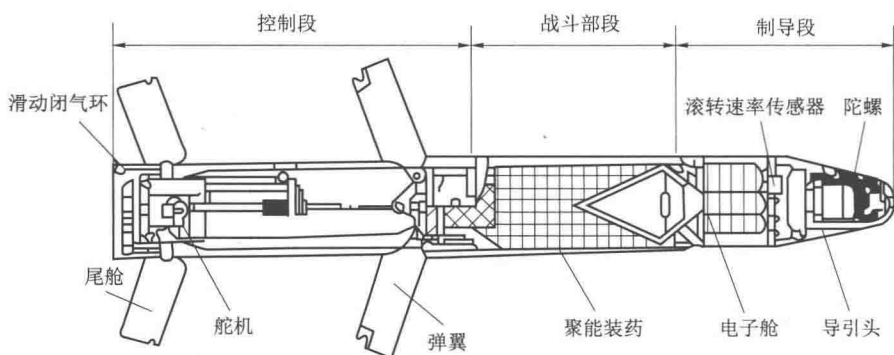


图 3-2-58 “铜斑蛇” 末制导炮弹结构示意图

弹翼是提供升力的主要部件，其主要目的是提高制导炮弹的射程。尾翼是由冷气式气动舵机驱动的旋转振动舵，主要用来提供控制力以改变飞行弹道，并保证稳定作用。气动舵机的压力源是高压冷气瓶。

“铜斑蛇” 末制导炮弹的工作过程如图 3-2-59 所示。首先由激光指示器照射目标，炮手根据激光指示器编码和目标距离，装定激光编码和定时器，然后将炮弹装入炮膛发射。弹上惯性开关在弹体向前运动的加速度作用下接通电源，定时器启动并同时释放尾翼。炮弹以 20 r/s 的出口转速飞出炮口，尾翼在离心力的作用下打开，进入无控弹道飞行。

当飞越弹道最高点附近时，定时器将弹翼展开，转入滑翔段和末制导段飞行。

进入目标区后，定时器启动激光导引头开始工作，导引头接收目标反射的激光回波，传感器将陀螺测出的弹体偏移量转换成相应的比例导引指令再送给舵机，从而操纵尾翼，控制炮弹飞行，使其最终准确命中目标。

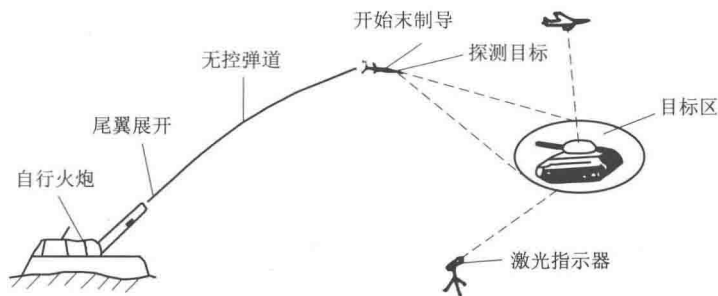


图 3-2-59 “铜斑蛇”末制导炮弹的工作过程

末制导炮弹上并不携带用于指示目标的激光器，故其制导方式属于激光半主动制导方式。此外，还有一种主动式末制导方式，它是根据侦察通信指挥系统提供的目标位置和运动状态检查弹药、装定工作程序和发射诸元、装弹，并完成发射任务。

图 3-2-60 所示是英国毫米波制导“灰背隼”末制导迫击炮弹及其飞行弹道示意。末制导迫击炮弹飞出炮口后便展开尾翼，然后战斗部解除保险、弹出舱面，制导系统进入寻的状态，其作用范围 $300\text{ m} \times 300\text{ m}$ ；捕获目标后，制导系统按导引规律跟踪目标，控制炮弹飞向目标，然后引爆战斗部，毁伤目标。

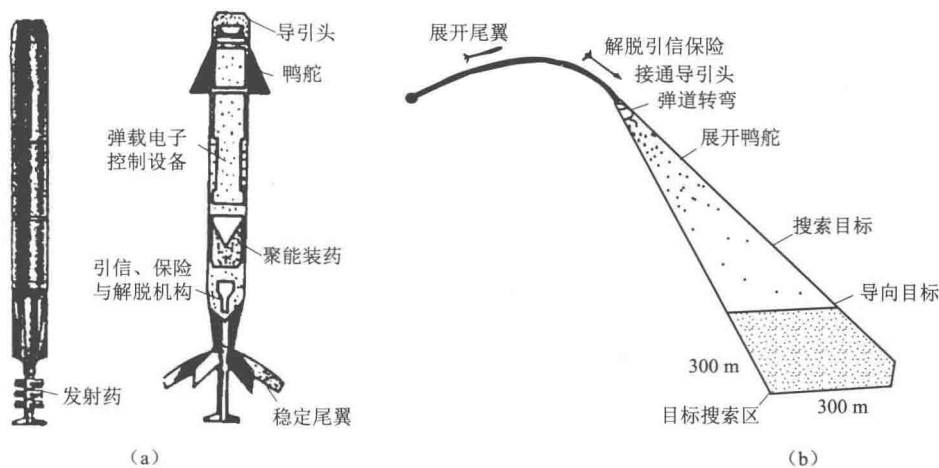


图 3-2-60 “灰背隼”末制导迫击炮弹及其飞行弹道示意
(a) 迫击炮弹全貌；(b) 典型飞行弹道

3. 炮射导弹

炮射导弹是具有制导和自推动能力的炮弹，是一种发射式导弹。炮射导弹的投射部由发射药和火箭发动机组成。

发射炮射导弹时，由火炮发射赋予导弹一定的初速，当导弹飞离炮口后，火箭发动机即开始工作，推动弹丸继续运动，使导弹不断增速。炮射导弹装有制导装置、数据处理装置和其他电子器件，初速比一般炮弹低得多。现有的炮射导弹的制导体制多为激光波束半主动遥控制导，又称为激光驾束制导，它是利用激光器发射的激光束引导导弹飞向目标（图 3-2-61），适合在近距离（一般为 10 km 以内）直视条件下使用，常用于地空导弹系统

及反坦克武器系统。

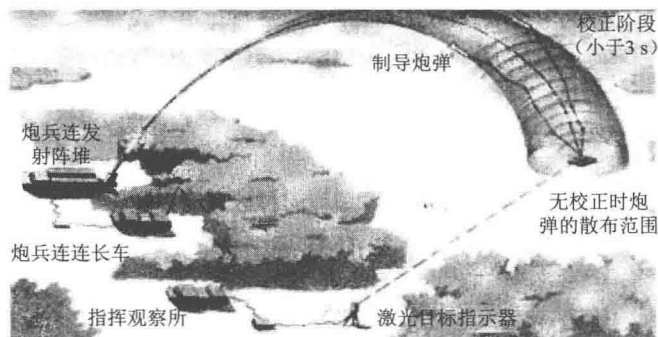


图 3-2-61 炮射导弹工作原理示意

第三节 其他武器

坦克装甲车辆的武器系统除了火炮外，还有并列机枪、高射机枪及随车配备的冲锋枪、信号枪、手榴弹等其他武器，有的轻型装甲车还配有导弹，它们也是坦克武器系统的组成部分。本节仅就各种装甲车辆均配备的机枪作简要介绍。

一、机枪的自动击发原理

机枪是一种利用火药气体连续自动完成开锁枪膛、抛壳、重新装弹、闭锁枪膛、击发等动作的自动武器，其工作原理如图 3-3-1 所示。

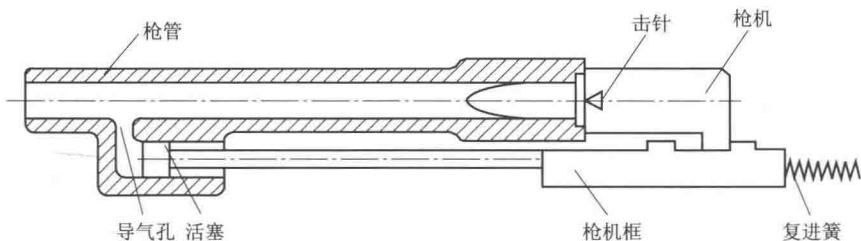


图 3-3-1 机枪的自动作用原理

射手或电动机构扣动扳机时，枪机和枪管靠弹簧紧压在一起，同时，枪机中的击针撞击子弹底火使其发火，并点燃发射药，弹丸在爆炸火药气体推动下沿枪膛前进。当弹丸通过导气孔时，部分火药经导气孔推动活塞向后，带动枪机框后坐并使枪机开锁；随后枪机和枪机框一齐后移，并由抛壳机构抛出空弹壳，同时进一步压缩复进弹簧；当后移距离足以保证装入下一发枪弹时，活动部分机件在复进簧作用下向前复进，枪机推动下一发枪弹入膛，闭锁枪膛随后进行第二次发射。这样，只要弹链或者弹匣连续供弹，机枪就可以连续发射。

二、高射机枪

通常，在主战坦克炮塔上部还装有 1~2 挺机枪，目前使用的是 7.62 mm 和 12.7 mm 口

径的高平两用机枪。在车内乘员为 3~4 人情况下安装一挺机枪，机枪被装置在车长或者装填手门的旋转支架上。机枪的射击操作也有乘员在车内手动或电控击发、乘员在车中探身手动击发两种方式。在安装 12.7 mm 口径机枪时，可以使用穿甲燃烧弹和脱壳穿甲弹攻击空中的飞机和地面的装甲车辆。图 3-3-2 所示为我国 QJC88A 式 12.7 mm 口径高平两用机枪。

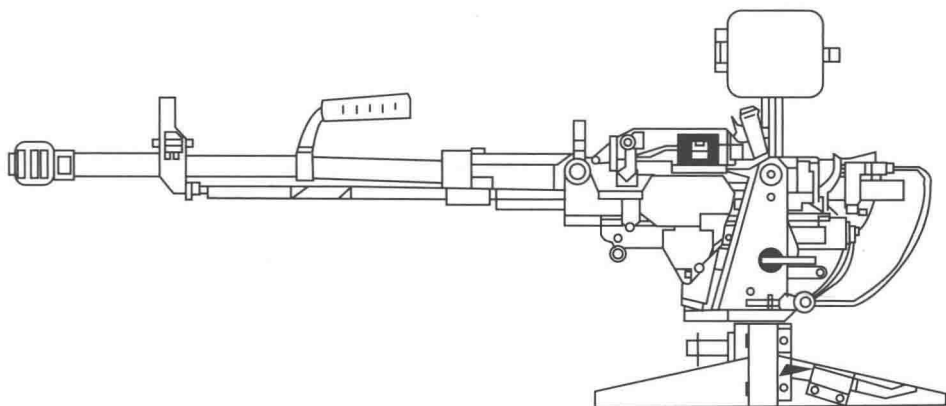


图 3-3-2 QJC88A 式高平两用机枪

（一）性能

口径：12.7 mm 初速：发射穿甲燃烧弹 800 m/s，发射脱壳穿甲弹 1 150 m/s
射速：80~100 发/min 射程：1 600 m
方向射界：0°~360° 高低射界：-6°~+85°

（二）构造

高射机枪由枪管、机匣、活动部分、受弹机、击发机、瞄准具、把手部和弹箱组成。

枪管赋予弹丸初速的方向和稳定飞行所必需的旋转运动（图 3-3-3），前部的膛线被固定在机匣孔内，可使弹丸在火药气作用下产生旋转运动；枪管内后方为容纳枪弹的弹药室。

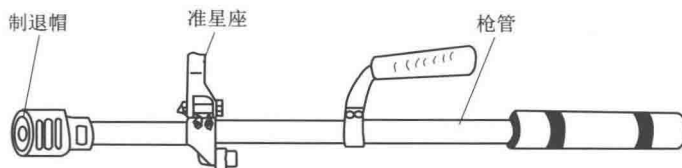


图 3-3-3 枪管

机匣为结合机枪各机件的主体（图 3-3-4）。机匣两侧有耳轴，用于将机枪固定在枪架上；在机匣前端有键槽、枪管固定栓，用以固定枪管；机匣上方有受弹机卡铁、受弹机连接座；机匣内两侧有闭锁卡槽，上方有抛壳斜面。

活动部分装在机匣内，由枪机、枪机框、活塞导管、活塞及活塞杆和复进弹簧组成，与其他配件配合，完成送弹、闭锁、击发、开锁和抛壳等动作。

枪机用来送弹、闭锁、击发和退壳，安装在枪机框上，由机体、击针、退壳钩、退壳弹簧和抛壳挺组成（图 3-3-5）。

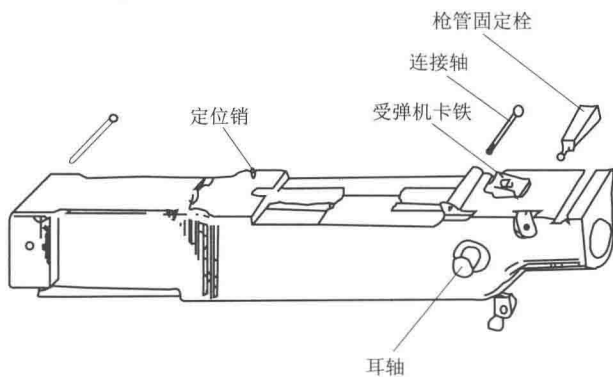


图 3-3-4 机匣

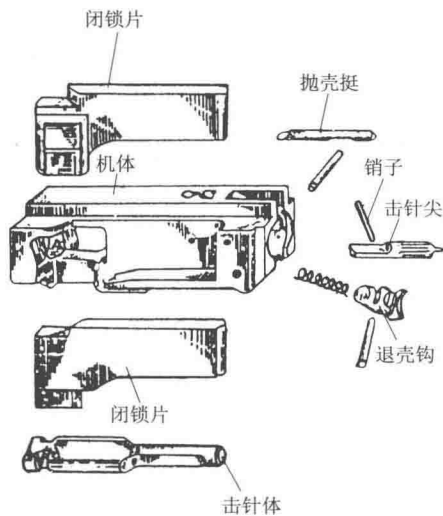


图 3-3-5 枪机

枪机框是活动部分的主体，用于带动枪机在机匣内前后运动，并带动受弹机工作（图 3-3-6）。

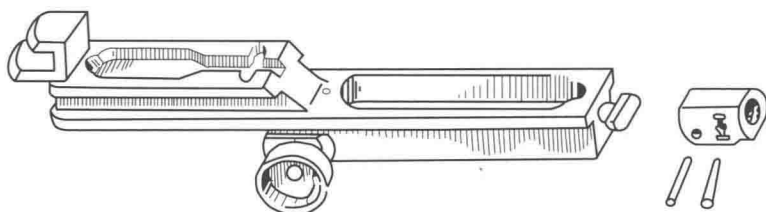


图 3-3-6 枪机框

受弹机由机座、机盖和拔弹装置组成，主要是用于快速、流畅地拔送枪弹。

受弹机座（图 3-3-7）用来规正弹带运动方向，并将枪弹从弹带上取下，其上有阻弹齿、卡弹板和连接耳。受弹机盖（图 3-3-8）后端有卡簧，中部有拔弹板槽，前端有卡簧和连接耳。

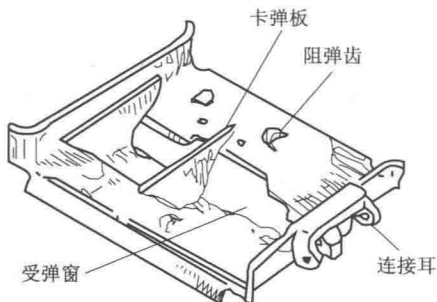


图 3-3-7 受弹机座

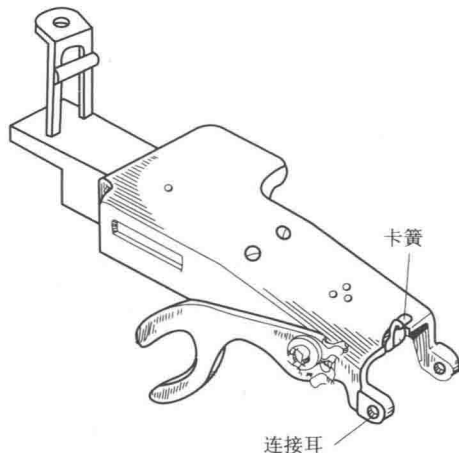


图 3-3-8 受弹机盖

拔弹装置（图 3-3-9）安装在受弹机盖内，用以在机柄的带动下拨送弹带及枪弹，由拔弹臂及轴、双臂杠杆及轴和带有拔弹齿的拔弹板组成。

击发机（图 3-3-10）用来控制活动部分，安装在机匣的后端下方，由击发机匣、击发阻铁杠杆、击发阻铁及簧、保险机、固定耳组成。

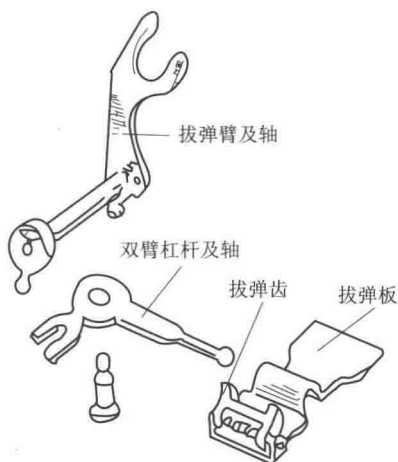


图 3-3-9 拔弹装置

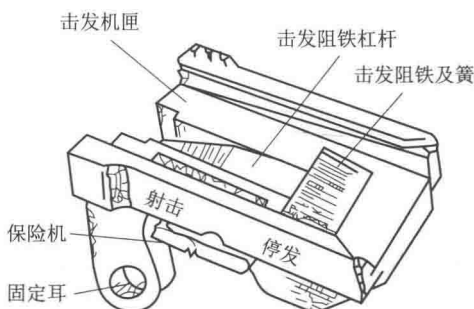


图 3-3-10 击发机

（三）工作原理

1. 待击发状态时的工作

向后拉机柄，机柄带动枪机框和击针体向后运动。击针体的方形部从击针体室内抽出，闭锁片合拢而脱离闭锁卡槽，使枪机随同枪机框一起向后移动。

机柄向后与拔弹臂接触时，带动拔弹臂与轴一起转动，轴上的拔钮拨动双臂杠杆，使拔弹板向右滑动，拔弹齿即带着弹带一起向右移动，将弹带上的首发枪弹压入受弹窗。

枪机框运动到最后位置，击发阻铁卡进击发阻铁槽，复进簧处于压缩状态，机枪成待击发状态。

保险时，应将保险机扳到“停”的位置，这时保险栓的圆形部将击发阻铁杠杆前端顶住，使击发阻铁不能下降而形成保险（图 3-3-11）。

2. 发射时的工作

将保险机扳到“放”的位置解脱保险；按压发射杆或扣引扳机时，击发杆便向上顶击发阻铁杆的后端，其前端即向下压击发阻铁，使击发阻铁脱离击发阻铁槽（图 3-3-12）；复进簧伸张，推动枪机框和枪机向前，当枪机通过受弹窗时，即将第一发枪弹推入弹药室。

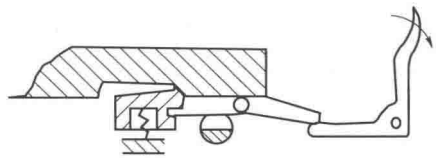


图 3-3-11 待击发状态时的工作

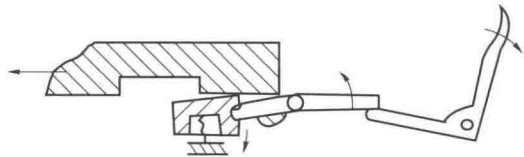


图 3-3-12 发射时的工作

复进簧伸张，推动枪机框和枪机向前，当枪机通过受弹窗时，即将第一发枪弹推入弹药室。

当枪机与枪管后切面接触时，退壳钩即抓住弹壳的起缘，机体和闭锁片即停止前进；但击针体随同枪机框继续向前，定型槽松开闭锁片后端，击针体的方形部便顶开左右闭锁片，

卡入机匣内壁的闭锁片槽内而紧密地闭锁枪膛；然后击针尖撞击底火，形成击发。

机柄向前时带动拨弹臂，通过双臂杠杆使拨弹板向左移动；拨弹齿向上，压缩弹簧；待拨弹齿通过下一发枪弹后，在弹簧的作用下卡住弹带，为下一次拨弹做好准备。

3. 连续发射时的工作

击发后，火药气体推动弹丸向前运动。当弹丸通过枪管的导气孔时，部分火药气体由枪管导气孔进入调整器，然后向后冲击活塞，使活动部分后退；退壳钩则将发射后的弹壳从弹药室抽出，后退抛壳。

枪机框继续向后通过击发阻铁，由于未松开发射杆（或扳机），因而击发阻铁不能卡住击发阻铁槽，枪机框在复进簧的作用下又返回前方位置，将下一发枪弹推入弹药室，然后再次发射，形成连发。

三、并列机枪

并列机枪可以采用2~7发的短点射、10~15发的长点射和连续射击的方式，用来消灭或压制1 000 m以内的敌有生力量、步兵火器和集团目标。并列机枪用固定销固定在火炮摇架右侧的安装支架上，并通过炮塔的转动和火炮的俯仰运动及火炮的瞄准镜来瞄准射击目标。

如图3-3-13所示，该并列机枪口径为7.62 mm，战斗射速为250发/min，初速为830 m/s，有效射程为1 000 m。

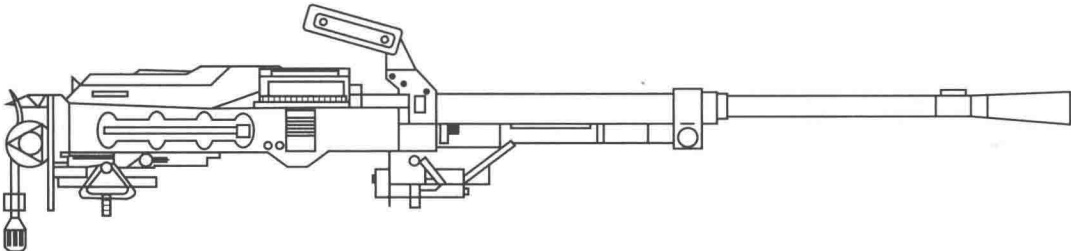


图 3-3-13 7.62 mm 并列机枪

这种机枪由枪管、机匣、活动部分、受弹机、装填拉柄、扳机装置和弹箱组成，结构与12.7 mm 高平两用机枪类似。

第四章

自动装弹机

一、概述

第一次世界大战的战场上诞生了坦克，在随后近百年的发展中，坦克赢得了“陆战之王”的美誉。坚固的装甲、犀利的火炮、高速机动使其成为现代战争中一种不可或缺的重要武器装备。随着火炮口径的加大，坦克炮弹的质量也越来越大，人工装填炮弹越来越困难。而采用自动装弹机可以省去一个乘员，有利于降低车体高度，更主要的是可以提高发射速度。

所谓自动装弹机，指的是为火炮自动装填炮弹的机器。严格来说，自动装弹机不是一个新鲜事物，世界上很多国家早就有了很多的成熟技术，但是现在装备有坦克自动装弹机的国家仍然有限，主要包括俄罗斯、中国、日本、法国等国家。

自动装弹机的研制始于第二次世界大战结束之后。在 20 世纪 50 年代，法国首先在 AMX-13 轻型坦克上采用自动装弹技术，其射速达到 10~12 发/min；到 60 年代，瑞典的 S 主战坦克也采用了自动装弹机构，其射速达到了 10~12 发/min；60 年代末，苏联在 T-64 坦克上采用了自动装弹技术，射速由原来的 3~5 发/min 提高到了 6~8 发/min，其后研制的 T-72、T-80、T-90 主战坦克都采用了自动装弹技术，射速均保证在 8 发/min；20 世纪后期，德国、日本等国家都在坦克武器系统中采用了自动装弹技术。美国在轻型坦克上试验了自动装弹技术，使其射速达到 12 发/min，此外，美国还为下一代坦克设想了遥控自动装弹方案，能使坦克的理论射速达到 15~16 发/min。

自动装弹机不但可以减少坦克乘员人数，而且可以大大减小坦克的正面投影面积，从而提高坦克的防护能力。相比人工装弹，自动装弹机的优势有：

① 使用自动装弹机可以有效降低车高。装填手在车内基本采取立姿工作，占用较大的空间，并需要足够的高度；而采用自动装弹机可以大大降低车高，节省空间，如 T-72 车高为 2.19 m，而德国的“豹 II”坦克的高度则达到 2.46 m。

② 减小体积，减少装甲使用量，有利于减重和加强装甲防护。

③ 便于隔舱化设计，提高乘员生存能力。采用自动装弹机后，易使乘员和弹药分开，减少殉爆的危险。

④ 便于装填大口径弹药。实践证明，人工装填 120 mm 炮弹基本上达到了人体体能的极限，而超过 120 mm 口径的坦克装甲车辆基本上都采用自动装弹机。

⑤ 可以有效提高射速。提高火炮的射速在很大程度上能够帮助坦克在对抗中战胜对手，

保护自己，而火炮射速在很大程度上又取决于坦克捕获目标的速度。更高的射速可以为第二目标的捕捉提供更多的机会。现代主战坦克火控系统可以自动搜索和跟踪空中或地面目标，而且具备自动对付多目标的能力。为了充分发挥这些先进系统的能力，必须使用高速自动装弹机；否则，射速将成为整个武器系统的“瓶颈”。目前，在人工装弹状态下，现代主战坦克一般射速只有 4~6 发/min，而采用了自动装弹后，射速可以达到 8 发/min，甚至达到勒克莱尔所宣称的 12 发。

⑥ 现代坦克装甲车辆要求具备行进间射击能力，在颠簸状况下，人工装弹颇为困难。

目前主流的坦克装甲车辆自动装弹机大体上可分为底舱式和尾舱式两种。

图 4-0-1 所示是苏联的 T-64 和 T-72 底舱式自动装弹机示意。T-64 采用 125 mm 分装式弹药，储存弹丸和药筒的弹匣直立放在炮塔吊篮内炮塔坐圈下方的旋转弹舱内；弹舱将装弹弹匣输送到指定送弹位置，由提升机构将其提到火炮后方，然后推弹器先装弹丸，后装药筒；而后空弹匣从上面又回到底下的弹舱。T-72 坦克装弹机原理与 T-64 的类似，不同之处是其采用盘装弹舱，装弹丸和药筒的弹匣平放在炮塔吊篮底板下方，整个装填过程为 8 s。大多数东方国家都是采用与此类似的自动装弹方式。

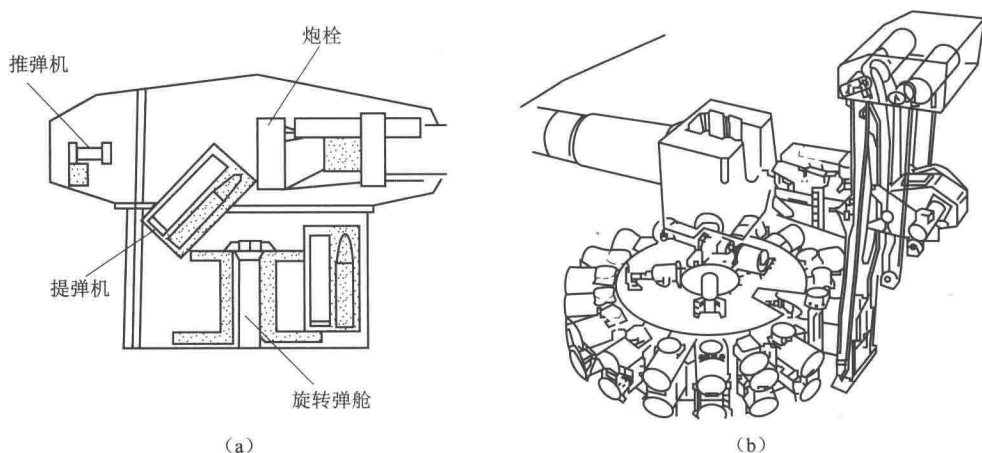


图 4-0-1 底舱式自动装弹机示意

(a) T-64 坦克自动装弹机；(b) T-72 坦克自动装弹机

目前，西方国家的主战坦克主要采用尾舱式自动装弹机。图 4-0-2 给出了几种常见的尾舱式装弹机的示意图。带状弹舱与火炮轴线成横向安装，送弹机从带状弹舱的输弹机上取弹，送到火炮药室同一水平高度，推弹和送弹装置比较简单。排列在弹带上的炮弹弹头朝着战斗室方向。法国勒克莱尔坦克采用的就是这种弹舱布置。鱼刺状弹舱中炮弹呈鱼刺状布置

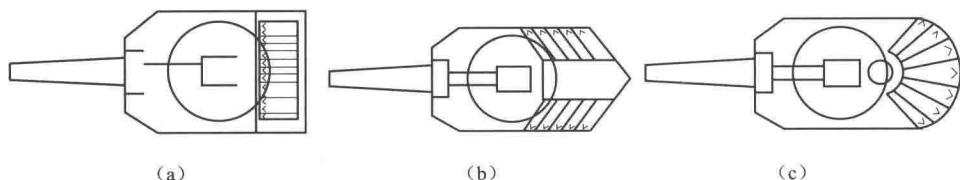


图 4-0-2 尾舱式自动装弹机示意

(a) 带状弹舱；(b) 鱼刺状弹舱；(c) 星形弹舱原理

在炮塔尾部弹架上，弹舱和乘员室分开，送弹机安装在一个滑轨上，可平移和向两侧摆动，因而能到每发炮弹位置上取弹，然后旋转到炮膛轴线方向，穿过隔板上窗口将炮弹推向炮膛。图 4-0-2 (c) 表示一种原理上相似而结构上有所不同的方案。炮弹呈星形放置在炮塔尾部空间内的固定弹架上。由于扩大了存弹区域，存放炮弹的数量也有所增加。在炮尾后方有一个可绕垂直轴旋转的转鼓，送弹机构安装在这个转鼓上。送弹机构还可以在高低方向上转动，因而其装填筒可以达到 3 排弹药中的每一发炮弹的位置，然后送弹机构取出炮弹、送到装填位置并装入炮膛。这种形式的弹舱曾被“豹 II”坦克采用过。

我国某主战坦克车体弹舱式自动装弹机，可以自动装弹、半自动装弹、补弹、卸弹、单独抛壳、人工装弹，其炮弹基数为 22 发；弹种有穿甲弹、破甲弹、榴弹三种；自动装弹速度为 6~8 发/min。

下面介绍其结构组成和工作原理。

二、构造

自动装弹机如图 4-0-3 所示，它主要由旋转输弹机、提升机、推弹机、开窗机构、火炮闭锁器、抛壳机构、配电盒、记忆装置、弹量指示器、装弹操纵台、弹种选择开关、装弹按钮、调炮器、闫体触点、后坐触点，以及装在左、右配电盒上的热保护开关和控制电缆等部分组成。

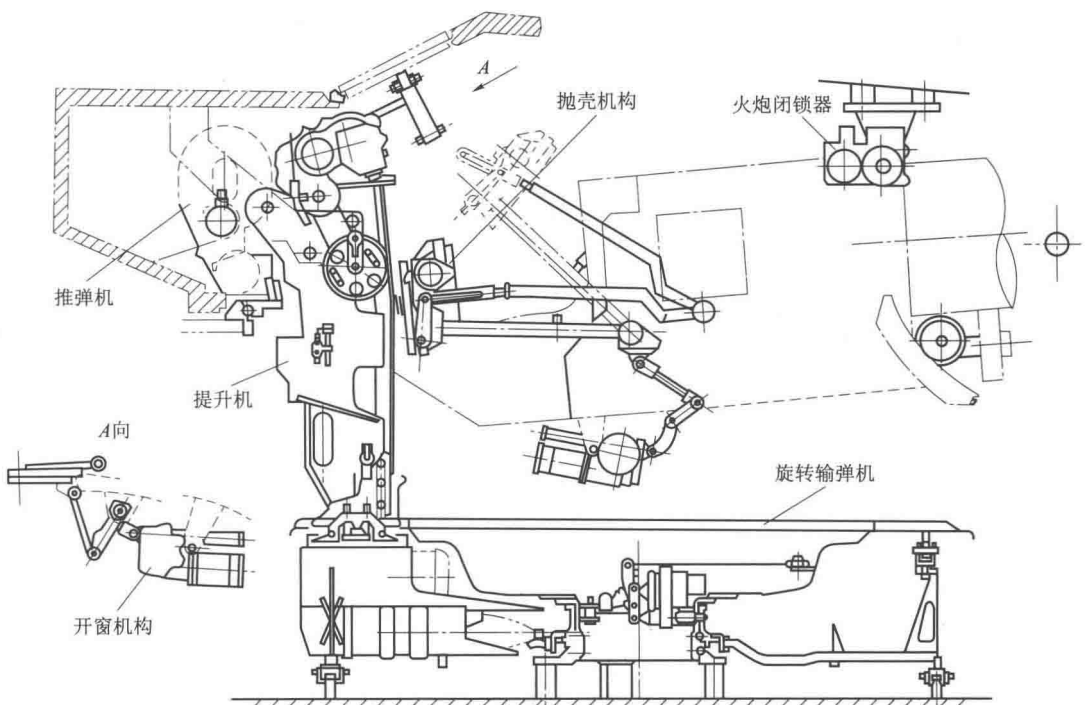


图 4-0-3 自动装弹机

(一) 旋转输弹机

旋转输弹机布置在坦克战斗室下部的车体底甲板上，其作用是储存自动线 22 发弹药，

并按指令将所选弹种运至出弹口。

结构上, 旋转输弹机由弹匣、旋转弹架、旋转底板、上下座圈、闭锁器、电动减速器等部分组成(图4-0-4)。

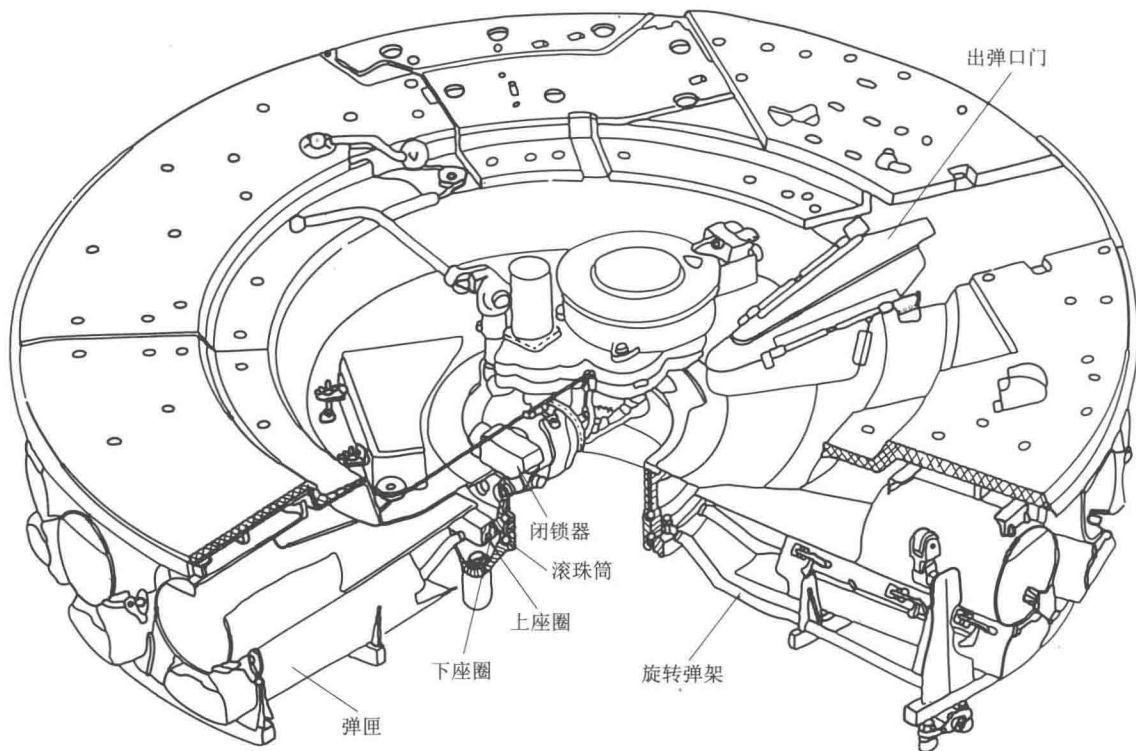


图 4-0-4 旋转输弹机

旋转输弹机的旋转底板与炮塔连接, 并固定在滚珠筒上。上座圈与构架固定, 且通过闭锁器与滚珠筒连接, 可随炮塔一同转动; 下座圈固定在车体上。闭锁器解脱后, 上、下座圈可相对运动。

1. 弹匣

弹匣用于储存弹药, 共有 22 个。每个弹匣由弹头筒、药筒、提弹钩、卡爪、解脱杆等组成, 分别放在轮辐式旋转弹架上, 并被弹架上的立板限位。

弹丸提升至推弹线前, 弹匣内的弹药始终被弹匣内的卡爪固定。自动装弹时, 弹丸被提升至推弹线, 提升机上的解脱板将弹丸解脱, 降至药筒推送线时, 提升机又将药筒解脱。

2. 旋转弹架、上座圈、下座圈、滚珠筒

轮辐式旋转弹架的功用是储存和运载弹匣, 分 22 格存放 22 个弹匣。旋转弹架外缘周围有 8 个滚轮, 用以支撑旋转底板, 下部有滚道支撑在装在车体底甲板上的 5 个滚轮上。旋转弹架中部与上座圈连接并绕滚珠筒旋转, 当其闭锁后与滚珠筒成为一体, 此时旋转弹架与滚珠筒可绕下座圈转动。下座圈固定在车体底甲板上。上座圈周围均匀分布 20 个闭锁孔, 用以将弹匣准确固定在出弹口。上、下座圈分别通过 45 个钢球与滚珠筒相连。

3. 旋转底板

旋转底板的主要功用是作为战斗室随炮塔同步转动，方便乘员工作，其上装有配电箱、输弹机减速器及部分弹药。旋转底板正后方设有自动开闭的出弹口门。

4. 闭锁器

输弹机闭锁器用来按指令将旋转输弹机的旋转弹架闭锁或解脱，它主要由闭锁体、闭锁销、电磁铁、连杆等组成。闭锁体上的斜面抵住橡胶缓冲器，以缓冲旋转弹架的惯性力，如图 4-0-5 所示。

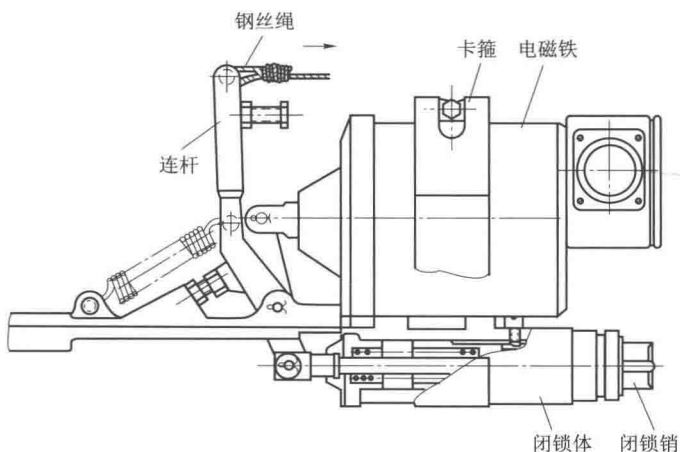


图 4-0-5 输弹机闭锁器

5. 电动减速器

电动减速器是一个速比为 100.5 的四级减速器，主要由电动机、弹性保险连接器、传动齿轮、传动箱体等组成。电动减速器的下部齿轮与上座圈齿圈啮合，用来转动弹架；上部输出小齿轮，用驱动记忆装置与弹架同步转动。

6. 手动解脱闭锁拉臂与手动旋转拉臂

手动解脱闭锁拉臂与手动旋转弹架拉臂的作用是在使用手动传动方式时，先将手动解脱闭锁拉臂拉起并保持，然后上下摇动手动旋转弹架拉臂，从而旋转弹架；松开手动解脱闭锁拉臂后，转动旋转弹架使闭锁器闭锁销对正上座圈上的闭锁孔，将旋转弹架闭锁。

（二）提升机

提升机固定在炮塔上的支臂上，下部通过拉紧装置与输弹机连接一起，作用是采用电动或手动方式将弹药提升至补卸弹位和推弹线上。结构上提升机主要由提升机电磁铁、提升架、抓具、提升链、手传动机构、电传动机构、仿形轮、出弹口门控制机构、弹药解脱板、手动转换拉臂等组成（图 4-0-6）。

1. 提升机电磁铁

电磁铁按指令闭锁提升弹匣的位置，其后部的触点随电磁铁的吸合与释放发出控制信号。

2. 提升架

提升架是提升机构全部零部件安装的基础框架，由左侧板、右侧板、导轨、导链筒及零

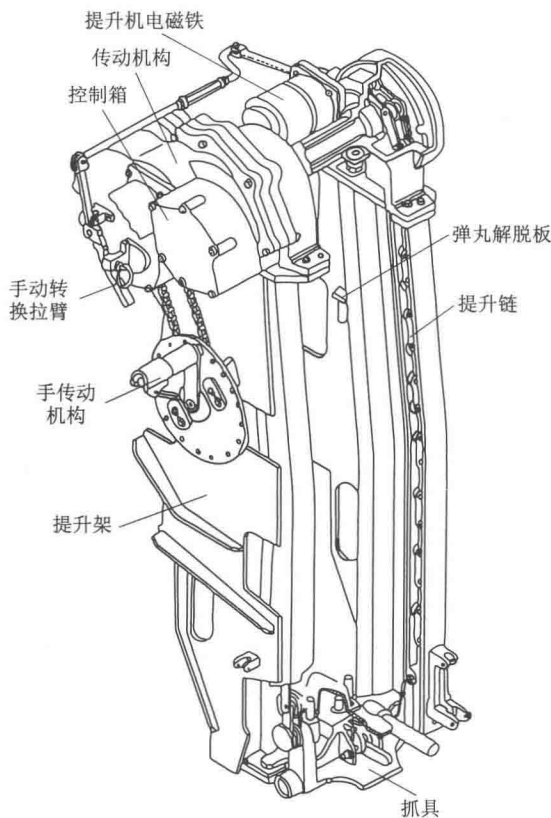


图 4-0-6 提升机

级减速器，其作用是电动提升或下降弹匣，主要由电动机、弹性保险连接器、齿轮、链轮、控制箱等组成。

控制箱内有四个信号控制开关，由仿形轮控制发出提升弹匣运动位置的信号。

7. 手传动机构

当提升机转换为手动时，通过提升机上的手轮可以传动提升机。手传动机构中装有闭锁键。

8. 手动转换拉臂及其机构

手动转换拉臂及其机构用于实现提升机构自动与手动的转换，主要由手动转换拉臂、杠杆机构、传动箱内滑动齿轮等组成。

(三) 推弹机

推弹机的作用是按指令推送弹头和药筒到炮膛，安装在炮塔正后方，并固定在炮塔底裙板上。推弹机主要由链盒、推弹链、保险离合器、链轮、伸出方轴，以及带电动机和控制箱的传动箱等组成（图 4-0-7）。

1. 推弹链

推弹链的功能是推送弹头和药筒，它是一个收回时可单向折弯收入蜗卷链盒内，伸出可呈一刚性直杆的特种链条。推弹链由 33 节链节和链首组成，其前部是具有弹性、节距为 45 mm、带榫头与榫窝的 6 节链节，中部是节距为 50 mm 的 26 节链节，尾部为 1 节节距为 38 mm 的链节。

部件安装附座等组成。

3. 抓具

抓具是指提升机构提升和夹紧弹匣的抓钩，它安装在两条提升链上，以导轨为运动导向。当将弹匣放入输弹机时，抓具松开弹匣；当提升弹匣时，抓具夹紧弹匣。

4. 提升链

提升机构有两条节距为 50 mm 的单排滚子的链条，其上部被链轮传动，下部与抓具连接。它们在导轨内运动。提升时，链条收入导链筒内。

5. 弹药解脱板

弹药解脱板共两个，分左、右安装在提升架内侧，其作用是当提升弹匣、弹头筒到达推送线时，左侧解脱板解脱固定弹匣上固定弹头的卡爪；当弹匣下降到达推送线时，右侧解脱板解脱固定药筒的卡爪，以便弹药从弹匣内推出。

6. 电传动机构

电传动机构是一个速比为 40.6 的三

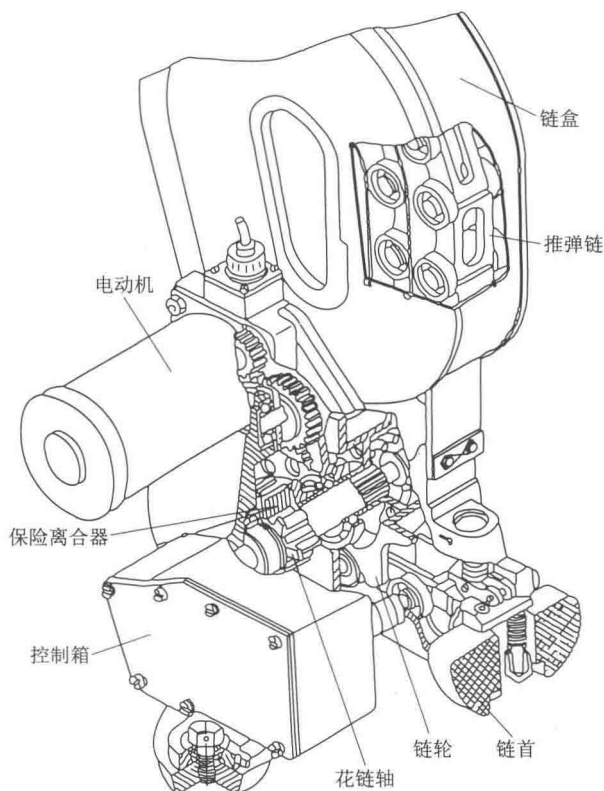


图 4-0-7 推弹机

推弹链的工作原理是：前 7 节链节伸出时，靠相邻两链节的榫头与榫窝紧密结合，成为刚性直杆；节距为 50 mm 的中间链节伸出时，由于推弹链头部与弹药接触点偏离链节的链轴一定距离，故在推送弹药时形成一个力矩，使链节间端面相互顶靠，形成刚性直杆；尾部链节节距 38 mm 用于防止推弹链脱开。前 7 节的结构形式又使推弹链在火炮关门时，在门体横向力的作用下可以左右弯曲，以便关门时推弹链可以顺利收回。推弹链收回时，弹性节距为 45 mm 的相邻两链节被节距为 20 mm 的链轮齿撑开收入链盒。

2. 保险离合器

保险离合器的作用是当推送弹药时发生卡滞时，通过摩擦片打滑来保护电动机和传动系统，它由 15 片摩擦片及花键轴等组成。

3. 带电动机和控制箱的传动箱

传动箱的作用是传动推弹链从而推送弹药，主要由电动机、齿轮、花键轴、链轮、控制箱等组成。

控制箱内装有四个控制开关，由仿形轮控制发出推弹链运动位置的信号。

(四) 火炮闭锁器

火炮闭锁器的作用是在自动装弹、半自动装弹和单独抛壳操纵时，将火炮闭锁在 $4^{\circ}30'$ 的角度上。火炮闭锁器被布置在右前方炮塔顶部，主要由支架、闭锁销、箱体、伸出方轴、开关控制箱、传动部分、手动扳手等组成（图 4-0-8）。

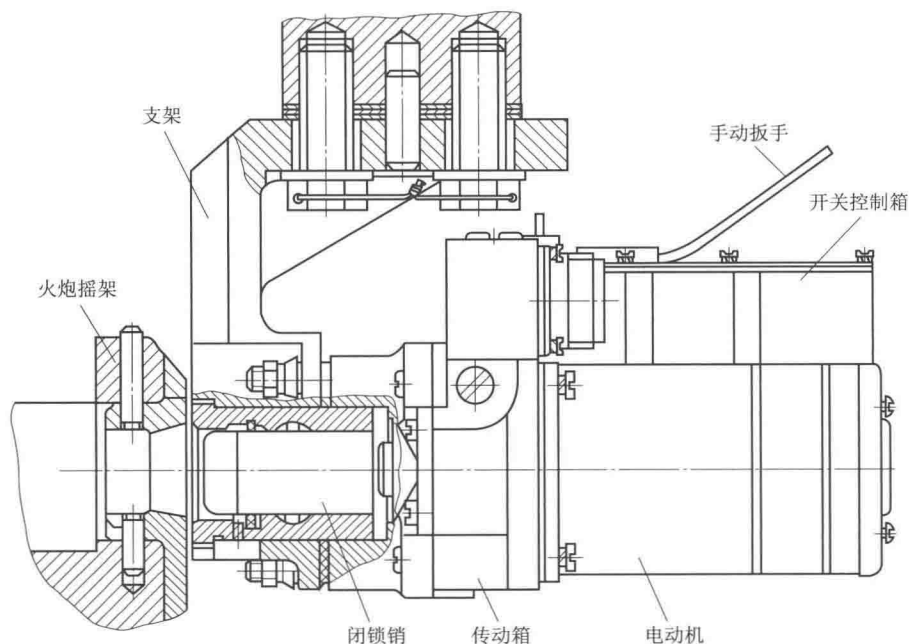


图 4-0-8 火炮闭锁器

1. 传动部分

传动部分是一个由速比为 6.4 的两级齿轮传动和一级丝杠传动组成的减速器，其作用是传动丝杠做伸缩运动，控制闭锁销伸出或缩回，主要由电动机、齿轮、丝杠螺母副、控制杆等组成。

在中间传动轴上，传动部分伸出箱体外一个方轴，以使用专用扳手闭锁或解脱火炮。

2. 开关控制箱

开关控制箱内装有三个信号控制开关，用于随控制杆的伸缩运动发出控制信号，控制闭锁销伸出闭锁火炮或收回解脱火炮，以及向炮控系统发出液力闭锁信号。

3. 闭锁销

闭锁销与控制杆固定在一起，随丝杠运动，并借助弹簧使闭锁销做伸缩运动。闭锁销伸出时，其头部锥面插入火炮摇架上将火炮闭锁，缩回时解脱火炮闭锁。

(五) 抛壳机

抛壳机的作用是收集火炮射击后抽出的弹底壳，并将其抛出车外，同时给火控、炮控系统发送有无弹底壳信号。抛壳机安装在火炮后部，与防危板通过转轴连接，主要由框架、弹壳收集器、抛壳电磁铁、带槽螺杆、扭杆、减速器、四连杆机构及弹底挡铁等组成（图 4-0-9）。

1. 框架

抛壳机框架的作用是在传动部分的带动下降低收集火炮射击后的弹底壳，然后抬起进行抛壳。抛壳机框架是两个四连杆机构，主要由四连杆机构、带槽螺杆、抛壳爪、扭杆、抛壳电磁铁等组成。

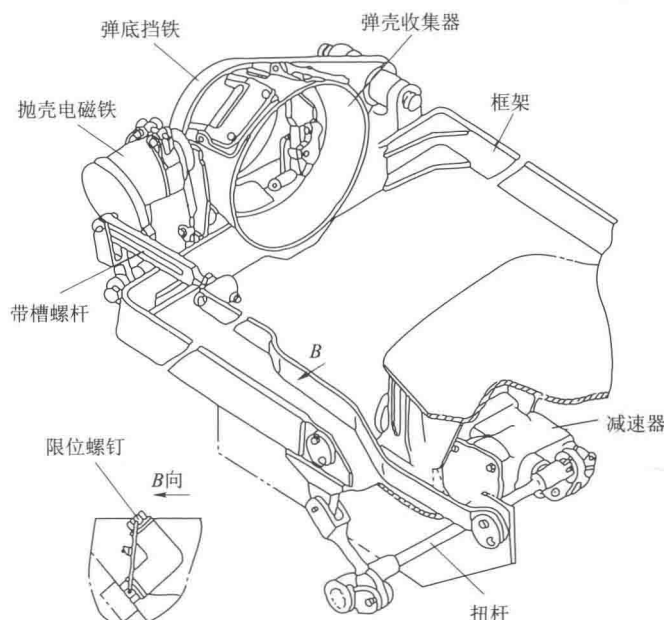


图 4-0-9 抛壳机

2. 带槽螺杆

带槽螺杆的作用是当框架下降时扭转抛壳扭杆，并储存抛壳能量。当框架抬起时，扭杆被抛壳电磁铁闭锁；抬到抛壳位置后，抛壳电磁铁按指令解脱闭锁，扭杆释放能量将弹底壳抛出车外。此时，带槽螺杆又拉住扭杆。

带槽螺杆的长度是可调的。

3. 减速器

减速器的作用是传递动力，从而带动框架抬起或降下。减速器传动速比为 86.6，主要由电动机、涡轮蜗杆、齿轮、齿条及控制箱等组成。

控制箱内装有两个信号控制开关和仿形轮，发出框架的位置信号。

4. 弹底挡铁

弹底挡铁的作用是：在收集弹壳时，挡在收集器后部防止弹底壳从后部掉下，同时其后的弹底壳触点发出收集器中有无弹底壳的信号。弹底挡铁安装在左防危板后部，可绕回转轴转动。自动装弹时，被抓具上的推杆抬起，让开送弹线。

(六) 开窗机构

开窗机构的作用是在抛壳时打开窗口，平时关闭窗口，它主要由减速器和四连杆机构组成（图 4-0-10）。减速器与抛壳机减速器结构完全相同，调整其中开关位置后即可互换。

(七) 记忆装置

记忆装置的作用是记录各弹种的数量和位置。记忆装置安装在旋转输弹机减速器的上面，并被减速器上部的输出齿轮传动，随输弹机同步转动，主要由集电环、输出齿轮、带 22 个滑块的转盘、消除记忆电磁铁、防误电磁铁、弹种按钮、转向组合及开关等组成。其中的 22 个滑块与输弹机中的 22 个弹匣位置一一对应。

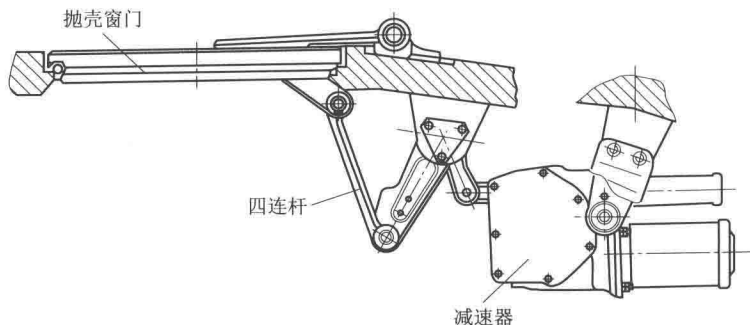


图 4-0-10 开窗机构

1. 集电环

集电环由四个同心的导电环组成，由外向内分别是空弹环、榴弹环、破甲弹环、穿甲弹环。这四个导电环又分为三个区域，即集电区、制动区和停车区。滑块在不同的区域时发出相应的信号。

2. 消除记忆电磁铁

消除记忆电磁铁的作用是按指令将记忆滑块推至空弹环，以消除记忆。

3. 防误电磁铁

防误电磁铁的作用是在非补弹工况时，使闭锁转向组合，不能推动滑块，从而防止误操作。防误电磁铁后部有一触点，作用是在按下弹种按钮时切断输弹机电路，防止输弹机转动而损坏记忆装置；当松开弹种按钮后，接通输弹机电路。

4. 转向组合

转向组合是推动滑块到不同位置的连杆机构，它与弹种按钮一起完成精确推送滑块到各弹种导电环的功能。

（八）弹量指示器

弹量指示器的作用是显示输弹机中弹药的数量。弹量指示器是一个具有特殊分划的毫安表，安装在炮塔左侧壁上，其工作原理是按记忆装置导电环上滑块的多少来输出不同的电流，使指针指示相应的位置，读出读数。

（九）装弹操纵台

装弹操纵台的作用是进行自动装弹机系统的半自动操作，它安装在炮塔右侧壁上（图 4-0-11）。

（十）其他部分

除以上结构外，还有一些操纵件、开关等安装在其他系统或部件上。

安装在火控系统操纵台上的有装弹按钮、SA4 自动/手动开关，以及手动、底壳、装弹完毕指示灯。

火控计算机面板上有弹种选择开关。

安装在炮塔左、右配电盒上的开关有电击发开关、自动装弹机工况转换开关，以及提升机、火炮闭锁器、推弹机、输弹机、开窗机构、抛壳机、电磁铁的电源开关。

安装在火炮上的部件有门体触点、后坐触点和调炮器。

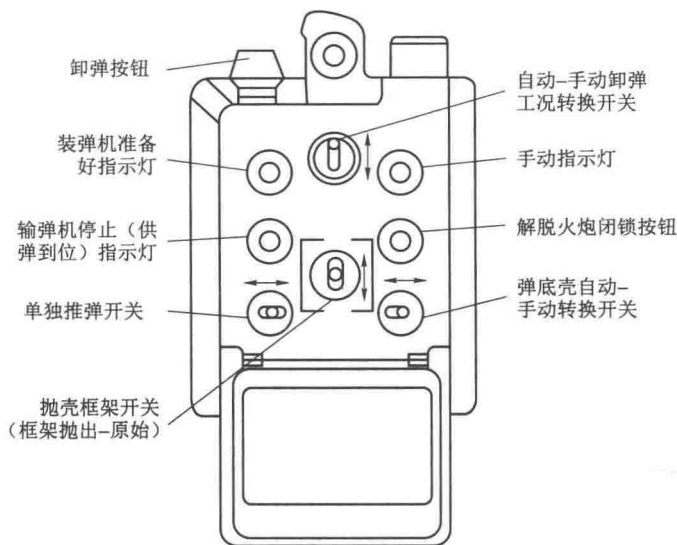


图 4-0-11 装弹操纵台

三、控制原理

自动装弹机系统的自动控制原理如图 4-0-12 所示。自动装弹机各部件的动作顺序如图 4-0-13 所示。

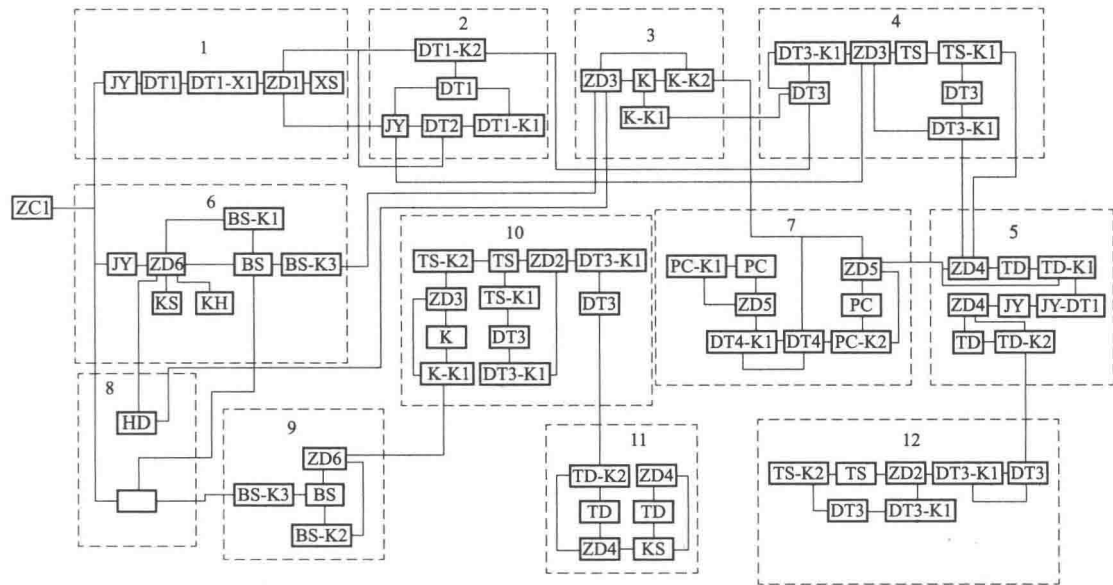


图 4-0-12 自动装弹机系统的自动控制原理

(一) 火炮调至装填角闭锁

按下装填按钮，向火炮稳定器控制箱发出信号，火炮由稳定状态调炮至装填角区域。火炮位置信号由调炮器 KY 发出。

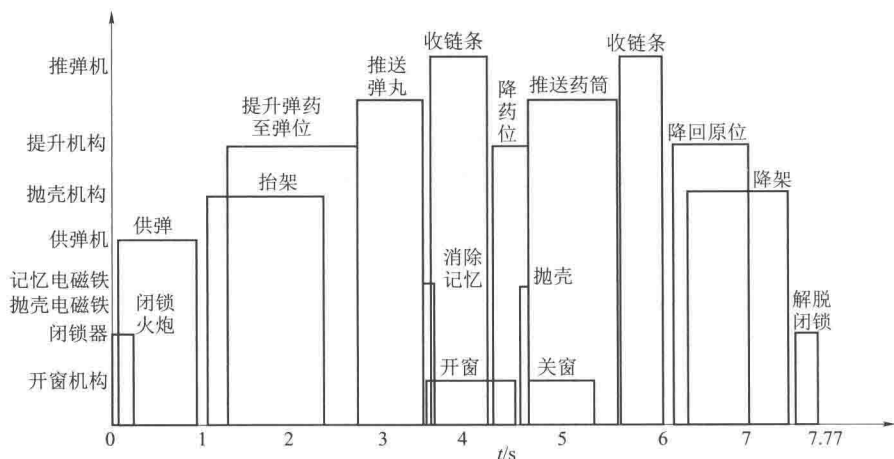


图 4-0-13 自动装弹机动作时序

当火炮刚进入装填角区域时，火炮闭锁器（BS）的电动机（ZDS）接通，闭锁器螺母-丝杠通过弹簧作用，将闭锁销紧压在火炮防危板上。当接到 BS-K1 信号后，ZDS 被切断，火炮即处于短暂的液力闭锁状态。

此时的液力闭锁状态受自动装弹机延时电路的控制，短时的液力闭锁用以缓冲火炮的惯性运动能量。液力闭锁解锁后，火炮即在装填角区域摆动。当闭锁销在弹簧的作用下插入火炮摇架上的闭锁衬套内时，火炮即被机械闭锁。

（二）旋转输弹机转动、弹种选择和输弹机停止

在自动装弹、半自动补弹或卸弹，且调炮至装填角的同时，旋转输弹机的动作依次为解锁→旋转→选弹→停止，其原理是：当按下装填按钮时，输弹机闭锁电磁铁 XS-DT1 接通，XS-DT1-K2 转换，发出信号给配电盒，以防止提升机解脱闭锁，电气连锁，实现部件协调动作。电磁铁 XS-DT1 被 XS-DT2 的导杆闭锁，此时 XS-DT2-K1 闭合，信号输入配电盒切断 XS-DT1，使闭锁销保持解脱状态。此时输弹机开始旋转。

输弹机转动时，带滑块的记忆装置随转盘同步转动。当被选弹种接近出弹口时，输弹机开始制动，制动是靠短时中断输弹机电动机来实现的，并由输弹机延时电路控制。制动信号来自记忆装置制动区导电环（JH2、JH5、JH8、JH11）。当输弹机靠惯性重新接通输弹机电动机时，按照来自记忆装置停车区导电环（JH1、JH4、JH7、JH10）的信号，XS-DT1 和 XS-DT2 被接通，闭锁器被 XS-DT2 的导杆解脱闭锁，XS-DT1-K1 的信号输入配电盒，从而切断输弹机电动机 XS-ZD1，闭锁销被弹簧推压在输弹机上座圈的内壁上滑动。此时接通 XS-ZD1 的低速电路，旋转输弹机开始低速转动。当闭锁销插入上座圈闭锁孔时，XS-DT1-K2 转换，发送信号给配电盒，切断 XS-ZD1，输弹机停止转动。

停车区导电环与输弹机闭锁的信号显示输弹机出弹口所选的弹种。

（三）抛壳机构抬框架至抛壳位置

抛壳机构抬架前，火炮闭锁器 BS-K3 信号为接通抛壳机构电动机 K-ZD3 做准备。

当输弹机制动后，K-ZD3 被接通，抬起框架。在抬架过程中，开关 K-K1 转换，发送信号给提升机电磁铁 TS-DT3；当框架抬起，接通 K-K2 时，切断 K-ZD3 电动机。

(四) 提升机构提升弹头至推送线

在抛壳机构抬起框架过程中, 旋转输弹机停止并闭锁好后, 提升机构开始提升弹匣, 其工作原理是: 抛壳机构抬起框架, 旋转输弹机闭锁, 发送 K-K1 和 XS-DT1-K2 信号使提升机构闭锁电磁铁 TS-DT3 接通, 解脱提升机构闭锁, 触点 TS-DT3-K1 闭合, 信号输入配电箱, 切断输弹机解锁线路; 同时, 接通提升机构电动机 TS-ZD2, 提升机构提升弹匣。

当提升机构抓具离开原位时, 提升机构控制开关 TS-K4 开始工作, 信号输入配电箱, 切断输弹机解锁线路, 输弹机转动。当带弹匣的抓具接近弹头推送线时, 提升机构控制 TS-K1 开关转换, 信号切断, 提升机构闭锁电磁铁 TS-DT3, 而接通电动机 TS-ZD2 的低速电路, 电动机低速转动。当提升机构闭锁销插入闭锁盘上的弹位缺口时, 提升机构被闭锁, 此时触点 TS-DT3-K1 断开, 电动机 TS-ZD2 被切断。

(五) 推弹机向炮膛内推送弹头, 消除记忆标志及推弹链收回

推弹机推弹药入膛分两次进行, 当提升弹头的弹匣筒至装填线时, 首先推弹头入膛, 其工作原理是: 推弹机根据提升机 TS-K1 和提升机构电磁铁 DT3-K1 的信号, 接通推弹机电动机 TD-ZD4, 推弹丸入膛。

当推弹链开始伸出时, TD-K2 开关转换, 信号输入配电箱, 闭锁提升机。

当推弹链推送弹丸结束时, TD-K1 转换, 信号切断 TD-ZD4, 并接通记忆装置的消除记忆电磁铁 JY-DT1, 将该弹种的滑块推到空环消除记忆。配电箱接通电动机 TD-ZD4 的反转电路, 使推弹链收回原位, 此时 TD-K2 转换, 切断电动机 TD-ZD4, 提升机构解锁。

(六) 开窗机构开窗, 抛壳机抛壳关窗

当推弹机推送弹头结束时, TD-K1 开关转换, 接通开窗机构电动机 PC-ZD5。开窗到位时, 电动机 PC-ZD5 被切断, 控制信号来自开窗机构 PC-K2。抛壳机构闭锁电磁铁 K-DT4 接通, 此时, K-DT4 闭锁销解脱抛壳扭杆, 抛壳爪将弹底壳抛出。K-DT4 吸合, 使 K-DT4-K1 闭合, 信号输入配电箱, 接通电动机 PC-ZD5 的反转电路进行关窗。关窗到位时, PC-K1 恢复原位, 切断电动机 PC-ZD5。

(七) 提升机构降药筒至装填线, 推送药筒入膛和推弹链收回

推弹机推送弹头并收回链条后, 根据开关 TD-K2 信号, 将提升机构闭锁电磁铁 TS-DT3 接通并进行解锁, 触点 TS-DT3-K1 闭合, 信号输入配电箱, 接通 TS-ZD2 的反转电路, 提升机构反转, 降下弹匣。当弹匣药筒接近推送线时, 开关 TS-K2 开始工作, 其信号切断提升机构闭锁电磁铁 TS-DT3, 接通提升机构电动机 TS-ZD2 的低速电路, 电动机低速转动。当提升机构闭锁销插入闭锁盘上的药筒位缺口时, 提升机构闭锁, 触点 TS-DT3-K1 断开, 电动机 TS-ZD2 被切断, 接通推弹机电动机 TD-ZD4, 推送药筒入膛。

当推弹链伸出时, 开关 TD-K2 开始工作, 信号输入配电箱, 闭锁提升机构。

当推弹机推送药筒到位时, 药筒底部凸缘冲开抽筒子, 火炮闩体关闭。此时, 闩体触点 KS 工作, 信号输入配电箱, 接通电动机 TD-ZD4 反转电路, 推弹链收回。当推弹链收回到位时, 开关 TD-K2 恢复原位, 信号输入配电箱, 切断电动机 TD-ZD4, 提升机构闭锁电磁铁-DT3 接通。

(八) 提升机构和抛壳机构框架恢复到原位

推送药筒后, 提升机构解脱闭锁的同时, 触点 TS-DT3-K1 闭合, 信号输入配电箱, 接

通电动机 TS-ZD2 反转电路，提升机构抓具下降。当抓具接近药筒推送线时，开关 TS-K2 转换，信号输入配电盒，接通电动机 K-ZD3 反转电路，抛壳机构框架下降。当抓具接近原位时，开关 TS-K4 开始工作，信号输入配电盒，切断提升机构闭锁电磁铁 TS-DT3，闭锁销伸出，压在闭锁盘面上滑动，电动机 TS-ZD2 低速电路接通，低速下降。当闭锁销插入闭锁盘上的原位缺口时，提升机构被闭锁。此时，TS-DT3-K1 断开，电动机 TS-ZD2 被切断。

抛壳机构下降时，抛壳扭杆逐步扭转，当到达原位时，抛壳机构的抛壳扭杆扭到最大工作角，闭锁销顺利插入闭锁位置，同时储存抛壳能量。此时抛壳机构开关 K-K1 恢复原位，切断电动机 K-ZD3。

（九）火炮解脱闭锁并返回原瞄准线

当抛壳机构框架降到原位时，抛壳机构开关 K-K1 恢复原始状态，信号输入配电盒，接通火炮闭锁器电动机 BS-ZD6，收回闭锁销，火炮解锁，BS-K3、BS-K2 也恢复原始状态。BS-K2 切断电动机 BS-ZD6，BS-K3 信号输入稳定器控制箱，此时，炮长瞄准镜内和操纵台上的“装弹完毕”信号灯亮，同时，火炮被解脱液力闭锁，并调炮至原瞄准线，做好火炮射击前准备。

第五章

火控系统

坦克装甲车辆的火炮等武器反映的是火力的威力，但是火力的精确程度要依靠火控系统来保证。在未来战争的各种复杂气象、地形及敌方干扰的条件下，坦克火控系统的性能，尤其是高速机动性能和高速机动条件下的精确打击性能显得至关重要，成为保全自身、消灭敌方的杀手锏。各军事强国的陆军装备发展规划中，均把火控系统的发展作为其优先考虑的问题。

第一节 火控系统

一、概念

1. 火控系统

简单地说，坦克装甲车辆火控系统就是控制武器进行射击的装置，这里的武器主要包括坦克炮和并列机枪，而不包括高射机枪、烟幕弹发射器、榴霰弹发射器等其他辅助武器。如果坦克炮配备了炮射导弹，则火控系统还应负责对导弹进行制导控制。严格地讲，坦克装甲车辆火控系统是指安装在坦克装甲车辆内，能迅速完成观察、瞄准、跟踪、测距、提供弹道修正量、解算射击诸元、自动装定表尺、控制武器击发等多项功能的一套装置。

所有的坦克装甲车辆火控系统，尽管在工作原理和构造上有所不同，但是都包括采集数据、解算诸元、控制武器这三个功能。

采集数据是指采集解算射击诸元所必需的弹道和气象数据，如至目标的距离、目标相对运动角速度、火炮耳轴侧倾角、弹种、气温、气压、横风速度、炮膛磨损引起的弹丸初速下降值、弹种跳角或综合修正量等数据，为计算机解算射击诸元做好准备。

解算诸元是指火控计算机根据采集到的弹道和气象数据，单次或连续解算瞄准角和方向提前量等射击诸元，并输入执行机构。

控制武器是指火控系统的执行机构在射手操纵下或在系统自动控制下装定射击诸元，使火炮到达指定的空间位置并发射，完成射击任务。

2. 火控精度

火控精度是指在规定条件下，火控系统赋予武器射角对预定射角产生的偏差范围。

3. 系统反应时间

系统反应时间是指从射手发现目标到火控系统完成射击准备、可以随时开火的时间，它

反映了火控系统的快速性能。

4. 命中概率

命中概率是指火控系统在某种射击条件下对某种目标射击时命中目标的可能性大小，反映了整个武器系统的精度。

系统反应时间和命中概率是坦克装甲车辆火控系统性能常用的两个评价指标。在其他条件相同的情况下，系统反应时间越短，命中概率越高，火控系统的性能就越好。

二、发展概况

坦克火控系统经历了从无到有、逐步提高的发展过程。

按照不同的分类方法，坦克火控系统的发展过程可以划分为不同的阶段。按照装备技术水平，第二次世界大战末期至今的坦克火控系统可划分为四代。

1. 第一代

第一次世界大战末期装备的火控系统也被称为原始火控系统。第一代火控系统仅配备一具与火炮相连的光学瞄准镜和一台用于高速转动炮塔与火炮的炮塔电动机。瞄准时，炮手目测判定至目标的距离，或者根据已知的目标高度或宽度利用瞄准镜分划板上的测距分划或密位分划判定目标距离，手摇高低机和方向机，手动装定表尺。这种火控系统在 900 m 的距离内，对静止目标原地射击才会达到 50% 的首发命中效果；超过 900 m 时，命中率将会显著下降。

苏联 T-34、T-54 坦克，我国的 59 式中型坦克、62 式轻型坦克、63 式水陆坦克装备的火控系统均属于第一代坦克火控系统。

2. 第二代

20 世纪 50 年代装备的火控系统在原来的光学瞄准镜的基础上，增加了体视或合像式测距仪、凸轮机械式弹道计算机和主动红外夜视瞄准镜。炮手可以使用光学测距仪比较准确地测定目标距离，将测距仪测定的目标距离输入计算机，计算机即可带动瞄准镜的分划板装定瞄准角。这里，火控系统只计算目标距离和弹种对瞄准角修正两个参数量。炮手通过操作火炮带动瞄准镜，瞄准目标并击发。与第一代相比，第二代火控系统性能上已经有了明显的提高，射击命中率达 50% 的距离已增至 1 300 m。

第二代火控系统采用了主动红外夜视仪，具备了初步的夜视夜战能力。

苏联的 T-55、T-62、T-64 等坦克都装备过第二代火控系统。

3. 第三代

20 世纪 60 年代，由于模拟计算机、激光测距仪的出现和微光夜视技术的发展，火控技术有了很大的提高。第三代火控系统含有火炮双向稳定器、车长激光测距瞄准镜、炮长昼夜观瞄镜、目标角速度测量装置，以及各种弹道修正量传感器等部件。这时的火控系统已具有现代火控系统的全部特征，被称为模拟式火控系统，或综合式火控系统。射手发现目标后首先使用激光测距仪进行测距，操纵火炮带动瞄准镜对运动目标进行跟踪；跟踪结束后，各种测量数据自动输入火控计算机；计算机根据输入的距离、角速度、耳轴侧倾角度、气象条件、弹种等数据，快速解算火炮的瞄准角和方向提前量，指示射手进行射击。它不但可以原地射击固定目标，而且可以原地或短停射击运动目标。原地射击固定目标时，首发命中率为

50%的距离可达 2 500 m 以上。

美国的 M60A1、中国的 69 式坦克火控系统属于第三代的综合式火控系统。

4. 第四代

20 世纪 70 年代,大规模集成电路技术的飞速发展和微型计算机的普遍应用,带领火控系统进入数字时代。相比第三代的模拟式火控系统,这时期火控系统运算精度高、通用性强、逻辑判断能力强,被称为数字式火控系统。第四代火控系统主要特征是光学瞄准线与火炮相互独立稳定,同时火炮又随动于瞄准线。因此这种火控系统被称为稳像式火控系统,又叫指挥仪式火控系统。它使得坦克具有了在原地或行进状态下,均能以高命中率射击固定或运动目标的能力。这种火控系统使坦克在行进间射击的首发命中率达到 65%~85%。

指挥仪式火控系统是当前稳像式火控系统的基本形式,近些年各国发展了双指挥仪式火控系统(又称为“猎歼”式火控系统)和以热像仪输出信号为基础,采用自动跟踪器、控制瞄准、跟踪目标及射击效果的自动化火控系统。

三、类型

世界各国使用的坦克装甲车辆火控系统,其技术性能、结构组成、使用部件各不相同。按照火炮轴线与瞄准线之间的控制关系,火控系统可以分为扰动式、非扰动式和稳像式(又称指挥仪式)三种类型。

(一) 扰动式火控系统

扰动式火控属于综合式火控系统。在这种火控系统中,瞄准镜和火炮采用四连杆机构刚性连接。因此瞄准线和火炮轴线是平行的,瞄准线随动于火炮。调节时,瞄准线偏移方向和火炮运动方向相反。

扰动式火控系统的特征是炮长每完成一次射击,要进行两次精确瞄准,中间要扰动一次。操作过程如图 5-1-1 所示。第一次精确瞄准是在激光测距仪测距时,这时要用瞄准镜的瞄准线瞄准目标中心,然后用激光测距仪测定目标的距离,并在瞄准镜中产生瞄准控制光点。当计算机根据目标距离和各传感器输入的数据计算出射击诸元后,控制瞄准镜的装表机构自动装定好表尺。此时,瞄准标记将偏离目标,偏移方向和火炮运动方向相反,这就是扰动偏移,该偏移量相当于射击提前角。对此,炮长通过手控装置调转火炮,使瞄准标记重新对准目标,此时火炮便被赋予了射击提前量,随后即可进行射击了。这个从“偏移”到“重新对准”的过程,叫作扰动过程。

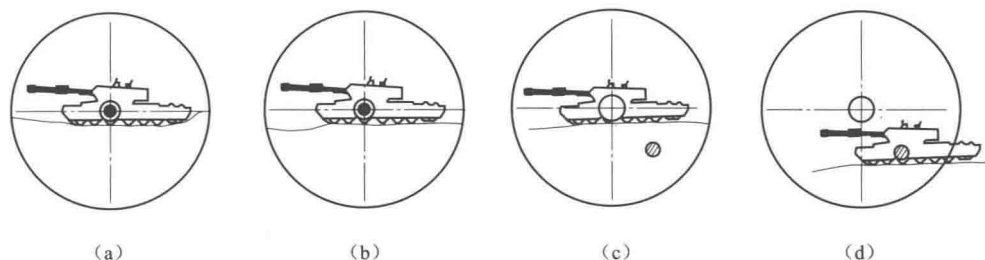


图 5-1-1 扰动式火控系统

- (a) 炮长用十字线压住目标,开始跟踪;(b) 十字线对准目标,出现光点;
(c) 计算高低和方位提前角,光点偏移;(d) 手控驱动火炮,重新对准目标,开始射击

扰动式火控系统有手动调炮和自动调炮两种方式。如果采用自动调炮方式,计算机算出射击提前角,同时输出给瞄准镜和火炮。

扰动式火控系统实现了自动装定标尺,虽然结构简单,但由于需要两次精确瞄准,系统反应速度慢。火炮的抖动对瞄准线干扰较大,而且动态精度差,因此不能进行行进间射击。

采用扰动式火控制系统的坦克有:美国 M60A3、俄罗斯 T-55/T-64、日本 74 式、英国“挑战者”1。国产 37A 火控系统则属于自动调炮类型,其首发命中率为 50% 的距离约为 2 500 m,系统的最低反应时间为 5~10 s,平均无故障工作时间为 960 h。

(二) 非扰动式火控系统

非扰动式火控系统瞄准镜与火炮仍为刚性连接,但在系统中增加了一个调炮回路。除了射击状态时,瞄准线与火炮轴线平行。瞄准线与火炮朝相反方向以同一速度移动。

系统工作时,火控计算机同时将射击提前角信号传输给瞄准镜和火炮稳定器,使瞄准线对准目标,火炮自动移至规定的位置上。这种系统在瞄准中不存在扰动过程,因而克服了扰动式火控制系统的弊病,所以被称为非扰动式火控系统。

非扰动火控系统结构比较简单,反应时间较短、跟踪平稳性好,操作简便。但由于火炮和瞄准镜机械连接,火炮的不稳定因素容易影响瞄准线的瞄准精度,从而使火控制系统的动态精度受影响。和扰动式一样,非扰动式火控系统也不宜采用行进间射击方式,而仅适于采用短停射击方式——“静对静”或“静对动”射击。

采用非扰动式火控制系统的坦克有瑞典 IKV-91 轻型坦克、法国 AMX-30B2 等。

(三) 稳像式火控系统

为了提高行进间射击精度,目前,世界上所有性能先进的主战坦克均采用稳像式火控系统。此种火控系统的工作机理借鉴于高炮指挥仪,因此,在某些专业书籍上,称其为“指挥仪”式火控系统。

这种火控制系统的显著特征是:从处于行驶状态的坦克瞄准镜向外观察时,视场中的景物几乎是不动的,所以这种火控系统被称为“稳像式”火控系统。

在稳像式火控制系统中,瞄准镜和火炮分开安装,不再刚性相连,各有独立的稳定装置,瞄准线是整个火控制系统的基准。车长或炮长通过操纵机构控制瞄准线始终对准目标,计算机则输出信号控制稳定器,使火炮随动于瞄准线,自动赋予火炮射角和方位提前量。在火炮到达射击提前精度范围后,火炮重合射击装置(即重合射击门电路)自动输出允许射击信号。若此时炮手已按下发射按钮,火炮即能自动发射。稳像式火控系统的工作原理如图 5-1-2 所示。

目前,稳像式火控系统有两种方案,即“下反”和“上反”稳像式火控系统。

(1) 下反稳像火控系统

稳像式火控制系统中,火炮轴线随动于瞄准线(通常称为镜炮同步)和重合射击门的实现,都需要实时测量火炮轴线与瞄准线之间的偏差角。测量方法是由镜炮同步的实现方法决定的,镜炮同步可以是机械同步,也可以是电同步。下反稳像火控采用四连杆机构实现机械同步。

下反稳像火控中的瞄准镜镜体通过耳轴安装在炮塔顶部,可以前后摆动(图 5-1-3)。

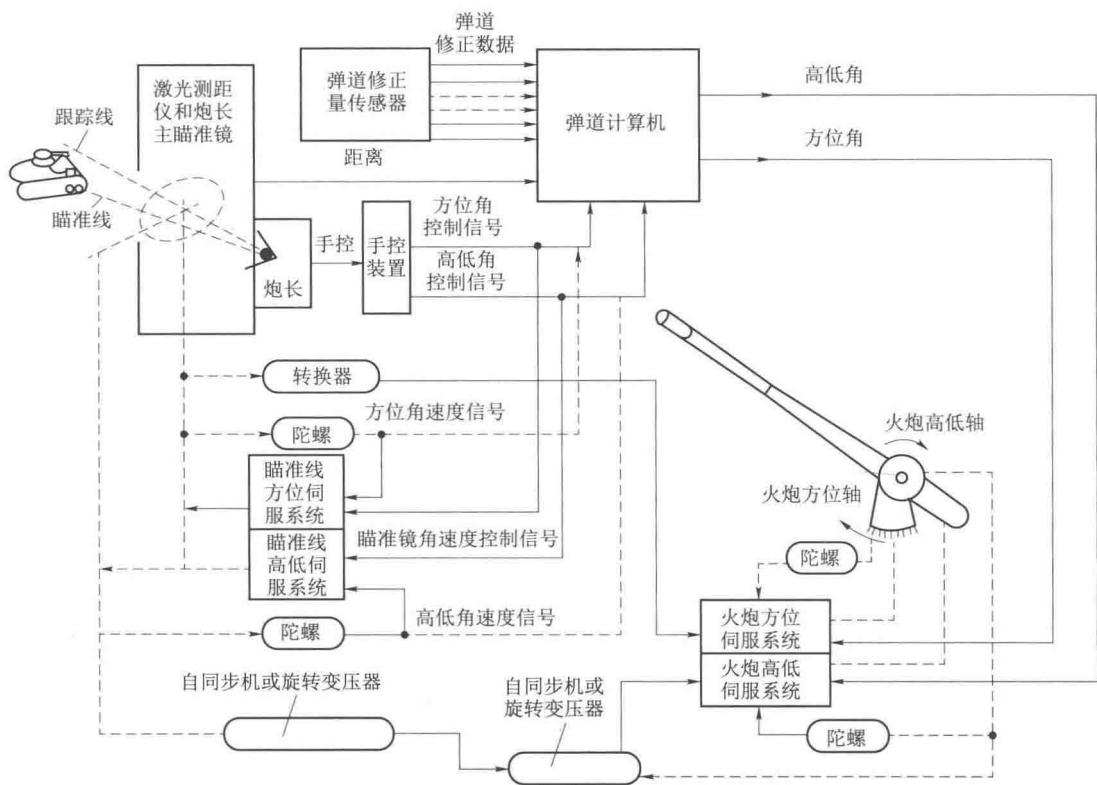


图 5-1-2 稳像式火控

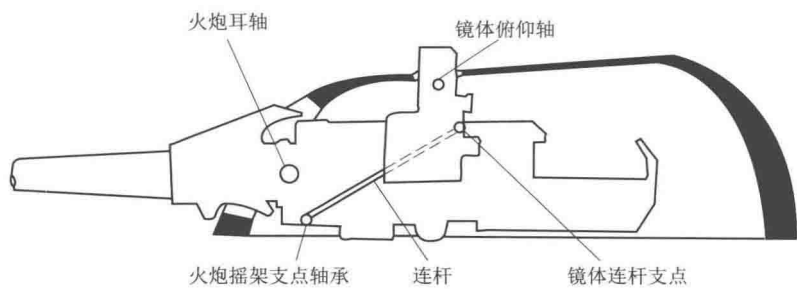


图 5-1-3 四连杆机构

镜体与火炮摇架之间通过四连杆机构连接。图 5-1-4 所示为下反稳像式火控系统简化的结构图。

镜体未摆动时，与陀螺转子轴线平行的入射光线经过光学系统，最后出射时与目镜轴线平行。坦克行进间，由于车体的颠簸振动，火炮将绕着耳轴进行转动，同时，通过四连杆机构带动瞄准镜镜体一起前后摆动。当镜体顺时针转动 α 时，相对 $2\times$ 补偿光组光轴，入射光线逆时针偏转 α （图 5-1-5）， $2\times$ 补偿光组出射光线顺时针偏转 2α ， 45° 棱镜出射光线逆时针偏转 2α 。由于 120° 棱镜被陀螺仪稳定保持原位不动， 120° 棱镜的入射光线将逆时针偏转 α ，出射光线将顺时针转动 α 。由于 $3\times$ 光组和目镜此时与镜体一起顺时针转动 α ，即和 120°

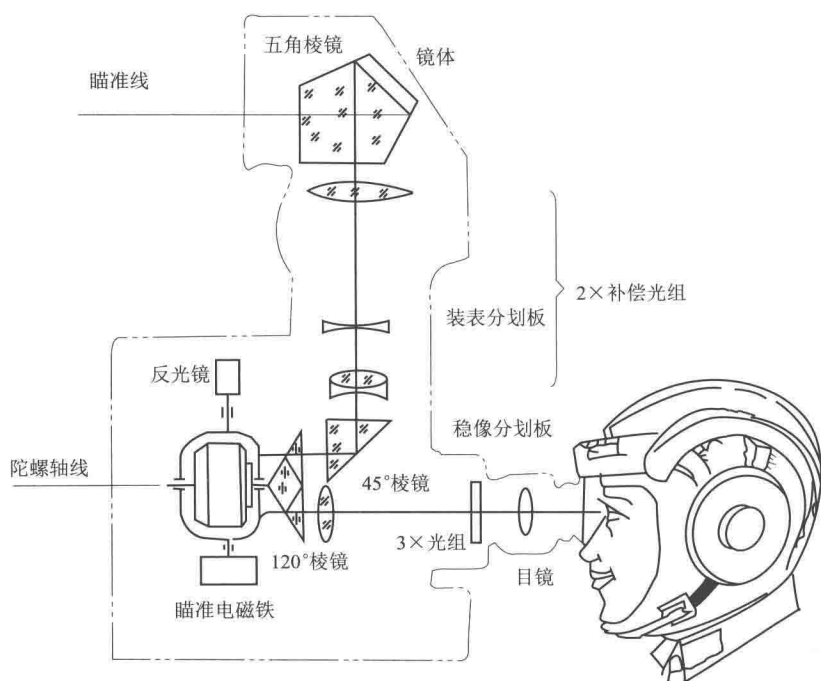


图 5-1-4 下反稳像式火控系统简化的结构图

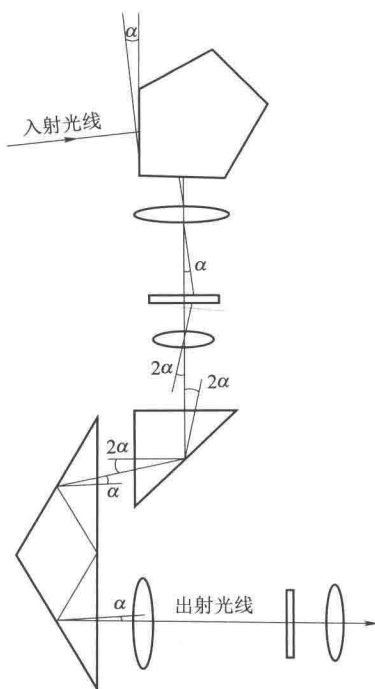


图 5-1-5 稳像状态光路图

棱镜出射的光线转动角度相等，因此炮手观察景物和目标是稳定的。

下反稳像火控瞄准线稳定中，120°棱镜就是被双自由度陀螺仪直接稳定的下反射镜。

从稳像原理和镜炮同步原理可以看出，下反稳像火控采用一个陀螺仪直接稳定下反射镜的方式，系统简单，可靠性高，成本较低，体积较小。在火控系统不通电工作时，瞄准镜可以直接降级到人工装表工作方式。在外界扰动小时，瞄准线稳定精度较高。但是，在车辆颠簸严重、外界干扰较强时，由于缺乏对强干扰的抑制能力，稳定精度将会降低。为了提高夜战能力，现代火控系统瞄准镜都集成有微光、热成像等夜视仪器，其物镜与昼间通道的上反射镜安装在一起。由于下反稳像火控的上反射镜是不稳定的，夜视光路不通过被陀螺稳定的下反射镜，夜视仪的视场也无法得到稳定，系统的夜视夜战能力不高。

(2) 上反稳像火控系统

上反稳像火控放弃了采用四连杆机构的机械同步测量瞄准线与火炮轴线之间偏差角的方式，转而采用先进的电同步测量方式。在上反射镜俯仰轴上安装有一个角度传感器，测量瞄准线与炮塔某参照物之间的偏差角；在火炮耳轴上也安

装有一个角度传感器,测量火炮轴线与炮塔某参照物之间的偏差角。通过对以上两个角度差的综合,即可实时解算出瞄准线与火炮轴线的偏差角。

上反稳像火控中,在上反射镜的方向轴和俯仰轴上分别安装了小型稳定系统,以实现瞄准线的独立稳定。当车体颠簸带动瞄准镜镜体随炮塔摆动时,视场中的目标会向与炮塔运动相反的方向运动。这时,瞄准镜中的陀螺仪会测量出镜体摆动的角度,然后控制上反射镜向相反的方向摆动该角度的一半,使目标成像后依然位于视场中原来的位置,达到稳像的目的。

与下反火控系统相比,上反火控系统光路结构简单,只需稳定上反射镜;瞄准镜镜体不摆动,稳定视场大;坦克在起伏较大的路面或越过弹坑时瞄准镜视场不发黑;夜视及热像下工作仍然“稳像”,并很容易扩展成自动跟踪火控系统,还可以通过激光制导使坦克具有炮射导弹功能。

为此,西方国家和我国新研制的火控系统普遍采用了上反方案。

德国“豹Ⅱ”坦克最早装备了指挥仪式火控系统,它是稳像式火控系统的基本型。美国 M1、俄罗斯 T-72 等主战坦克上均有采用这种火控系统的。我国也已在 80 系列和最新研制的主战坦克上装备了这种指挥仪式火控系统。

为提高指挥仪式的战技性能,随后各国又在基本指挥仪式火控系统的基础上发展了双指挥仪式火控系统,即在原系统结构的基础上,再增加一个具有观瞄、显示和控制功能的车长监控装置。这时车长与炮长一样,可以通过另一条稳定的瞄准线进行跟踪、瞄准与控制,故称此种火控系统为双指挥仪系统。美国 M1A1、德国“豹Ⅱ”A6、法国“勒克莱尔”等主战坦克上采用这种火控系统,国外也称其为猎-歼式火控系统。

以上火控系统存在的一个共同问题是:车长/炮长捕捉到目标并识别目标后,缺乏对目标的精确跟踪,且需花费较多的跟踪/精瞄时间,于是自动跟踪火控系统便应运而生。

自动跟踪式火控系统是另一种新发展起来的指挥仪式火控系统,其典型结构由指挥仪式火控系统与目标自动跟踪器相叠加组成,其基本原理是在独立稳定的瞄准线控制系统的前端又前置一个跟踪线的控制系统。目标自动跟踪器以对目标运动图像的分析为基础,随时探测出目标的位置及其运动参数等信息,实现对瞄准线的自动控制,从而实现瞄准线对目标的自动跟踪。日本 90 式坦克最早装备了带目标自动跟踪器的指挥仪式火控系统,以色列“梅卡瓦”MK4 主战坦克也装备了自动跟踪式火控系统。

目标自动跟踪火控系统既提高了跟踪精度,使火控系统的性能得到明显的提高,又降低了乘员的劳动强度,已成为当前坦克火控系统的主要发展方向。

如以双指挥仪式(猎歼式)系统为基础进行目标自动跟踪系统的组建,则可同时对两个目标进行自动跟踪。

英军“挑战者”2E 型坦克的 KXSAEN-3B 型指挥仪式火控系统被认为是现役坦克车载火控系统中最先进的火控系统。车长周视潜望瞄准镜及炮长瞄准镜均装有独立的热像仪和激光测距仪。中央数据处理计算机能同时运算车长及炮长标定的两组火控数据,当跟踪瞄准第一个目标时,同时搜索并锁定第二个目标。在第一个目标被消灭后,只需按下按钮,炮口即可自动转向攻击第二个目标,待与火控计算机设定的方位重合时,便可自动击发,从而实现

“无间隙”地操纵火炮。

因此,“挑战者”2E型坦克几乎可同时对付两个目标,将射击循环时间降至每两发6 s左右,达到光机电模式火控系统的极限。

美国正在研制的MSAT-FC/TAS火控系统已具备了自动化火控系统的一些功能,有可能在未来坦克中采用。

该火控系统的自动搜索/识别子系统功能如下:毫米波雷达可以全天候自动搜索、跟踪和定位目标;同步双视场热像瞄准镜能用其宽、窄两个视场同步显示目标的热像,其中宽视场适用于低散射干扰背景目标,窄视场适用于高散射干扰背景目标;与激光测距仪综合为一体式周视瞄准镜辅助搜索。自动目标识别处理机可分别处理、识别目标的热像和毫米波图像,中央处理机可以融合同一目标的热像及毫米波图像。目标识别系统将被识别的目标分成坦克、直升机、坦克歼击车、步兵战车等几种特定类型,显示于乘员综合显示器上,同时显示出目标识别的可信度,由乘员决定首先向哪个目标射击。乘员选定了攻击的目标,系统就将目标转交给炮长的射击子系统进行射击。

该系统还包括射击效果判定跟踪系统,它能对目标进行自动跟踪,然后自动报知弹着点位置,并输送给计算机,自动进行修正射击,从而大幅提高第二发射弹的命中率。

由此可知,目标自动跟踪火控系统是未来坦克火控系统的发展趋势。另外,空射和远战能力、与综合电子系统间信息的充分融合、增强目标探测及战场感知能力的多传感器融合,是未来坦克火控系统发展的重要内容和关键技术。

四、组成

功能上,坦克装甲车辆火控系统由观测瞄分系统、炮控分系统和弹道计算机与传感器分系统组成。

1. 观测瞄分系统

观测瞄分系统使主战坦克在全天候的条件下,均具有迅速捕捉目标、准确测距、精确瞄准的能力。它由各种光学瞄准镜、夜视和夜瞄装置、激光测距仪、光学观察潜望镜及其他各种组合形式的光学仪器构成。

2. 炮控分系统

炮控分系统使火炮手在各种地形条件下,都能很容易地操纵火炮,使瞄准角不受车体振动等因素的影响。炮控分系统主要由各类火炮稳定及控制装置组成。

3. 计算机与传感器分系统

计算机与传感器分系统的作用是测定各种影响火炮射击精度的参数,并进行计算和自动修正,以便最大限度地发挥坦克火炮的威力。计算机与传感器分系统由火控计算机及目标角速度、火炮耳轴倾斜、炮口偏移等传感器组成。

国产某型主战坦克装备的是一种具有多种功能的综合式火控系统,其镜体经四连杆机构与火炮同步,属于下反稳像式火控系统。系统由观测瞄分系统、炮控分系统和计算机与传感器分系统组成,可采用稳像、扰动(简易式)、人工三种工作方式;由于装有微光瞄准镜,具备夜间作战能力。

第二节 火控计算机与传感器

火控计算机与传感器分系统由火控计算机和各种传感器等组成,用来测定各种影响火炮射击精度的参数,并进行计算和自动修正,以提高火炮射击的精度。

一、火控计算机

火控计算机是现代坦克火控系统的核心,用于接收测距仪、传感器以及操纵机构的信息和用手工装定方法输入的参数,并按不同弹种的弹道条件计算出射击诸元,从而控制瞄准镜和火炮进行射击。火控计算机同时还具有对火控系统部件进行自检和控制的能力。

火控计算机从问世至今,先后出现过机械模拟、机电模拟、全电子模拟、数模混合式和数字式五种类型。现代坦克火控系统大部分采用数字式弹道计算机。

国产某型号火控计算机主要功能有主机自检、弹种选择(可选择穿甲弹、破甲弹、榴弹、穿甲训练弹及并列机枪弹)、身管磨损修正、横风修正、海拔修正、药温修正、气温修正、人工装定距离和综合修正等功能。

(一) 组成与构造

火控计算机主要由插件板组、控制面板、步进电动机驱动器等部分组成。

1. 插件板组

该部分包括 CPU、I/O 和电源三块插件板,是火控计算机的核心。打开火控计算机的前盖板,就可看到内部的三块插件。

(1) CPU 板

CPU 即中央处理器(Central Processing Unit),是计算机运算和控制的核心,其功能是解释计算机指令以及处理计算机软件中的数据。CPU 由运算器、控制器和寄存器及实现它们之间联系的数据、控制及状态总线构成。火控计算机 CPU 原理框图如图 5-2-1 所示。

(2) I/O 板

I/O 板原理框图如图 5-2-2 所示。I/O 板由模/数转换通道、提前量输出和步进电动机控制口、模拟量通道选择口及综合修正量输入口组成。

(3) 电源板

电源板为计算机提供各种直流电源,采用开关电源稳压技术,输入为坦克直流电源(26 ± 4) V,输出为计算机所需的+5 V 和 ± 15 V 的电压。

2. 控制面板

控制面板用于人工输入各种修正参数、操作方式选择和自检显示选择,由面板开关、按钮、指示灯、输入综合电路、显示电路组成。控制面板分为主面板和副面板(图 5-2-3)。主面板上有电源开关、保险丝、复位按钮、激光/人工开关、工作方式开关、弹种选择开关和弹种指示灯、诸元灯、故障灯、LED 数码显示器及人工距离、气温、药温、海拔、横风、初速修正开关。副面板上有自检选择开关,四个弹种的高低向和方位综合修正开关。

3. 步进电动机驱动器

步进电动机驱动器用于装表方式下将 I/O 板送来的步进电动机走步时序进行功率放大。它由八个独立的功率放大器组成,分别供给两个步进电动机的四相绕组。在稳像方式下,步

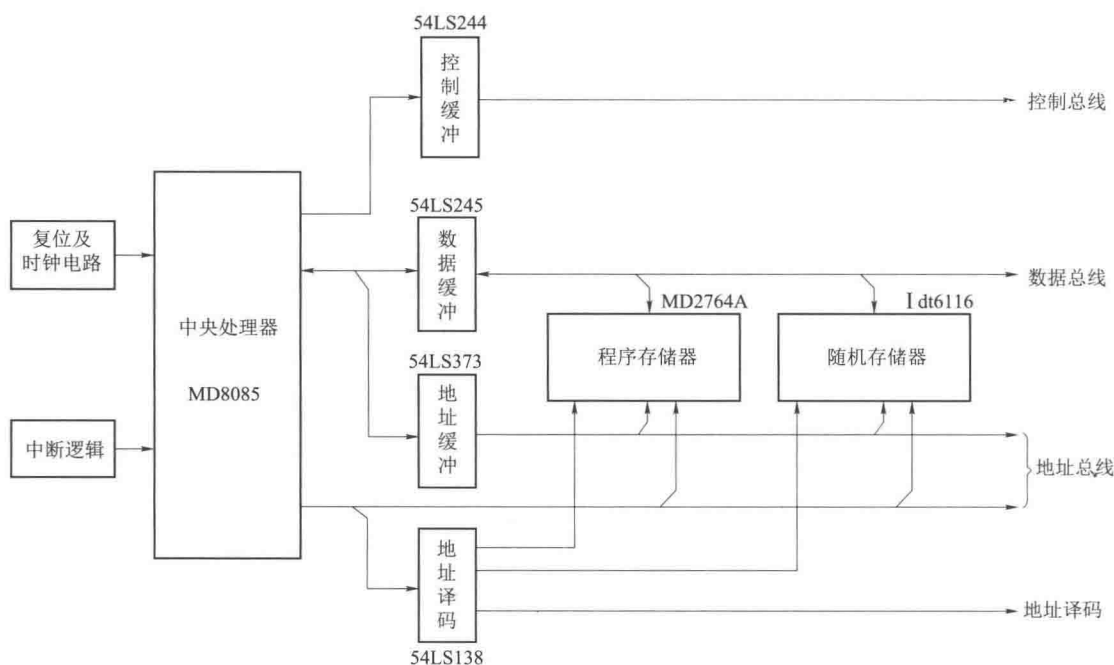


图 5-2-1 CPU 板原理框图

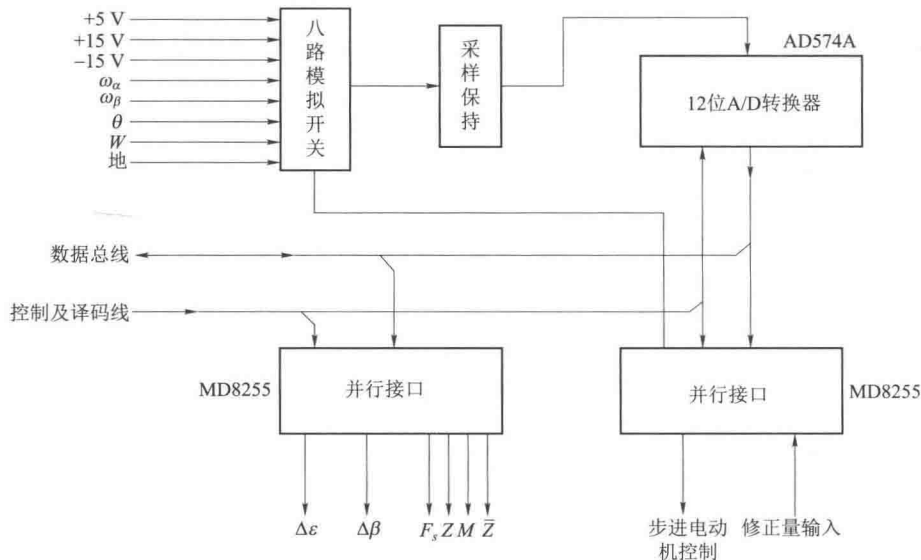


图 5-2-2 I/O 板原理框图

ω_α : 目标高低角速度; ω_β : 目标方位角速度; θ : 炮耳轴倾斜角; W : 横风值; $\Delta\varepsilon$: 高低向综合提前量;
 $\Delta\beta$: 方位向综合提前量; F_s : 封锁射击门信号; Z : 计算机诸元灯信号;
 M : 计算机故障灯信号; \bar{Z} : 瞄准镜假目镜诸元灯信号

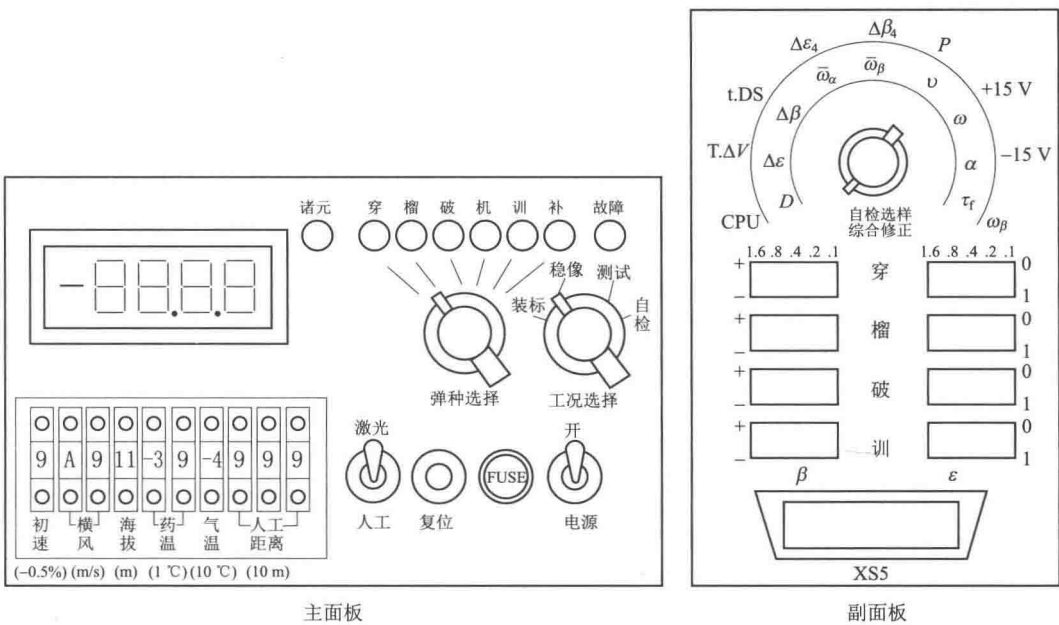


图 5-2-3 计算机面板

进电动机驱动器处于非工作状态。

(二) 火控计算机的工作原理

火控计算机主要具有稳像、装表和应急射击三种战斗工况，工作原理如图 5-2-4 所示。

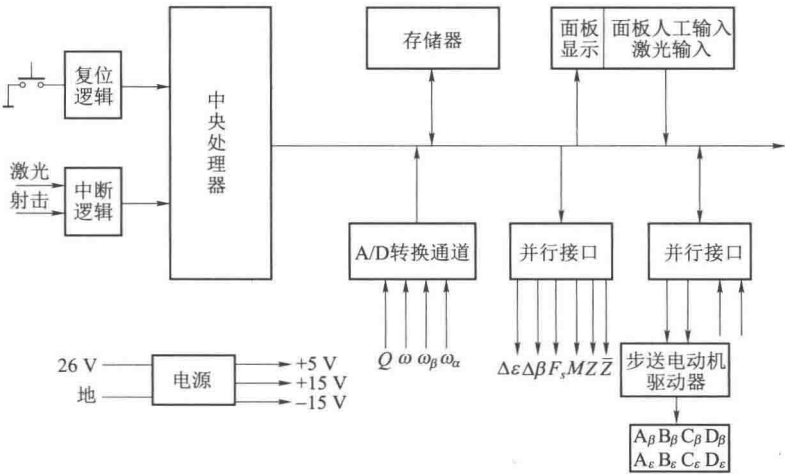


图 5-2-4 火控计算机原理图

稳像工况下，按下激光测距按钮，传感器即采集各种用于弹道解算的参数（气象参数、目标距离、目标运动参数、坦克炮耳轴倾斜角、身管磨损等）。根据参数，计算机连续循环解算出射击诸元，并通过 I/O 板上的并行接口将其送给系统控制盒，控制稳定器使火线在提前角位置与瞄准线协调，进入射击门后即可击发。

在装表工况下，按下激光测距按钮，传感器采集到各种参数，计算机解算弹道参数，单次求解射击诸元，并通过 I/O 板并行接口将瞄准角和提前量送入计算机中的步进电动机驱动器，驱动炮长瞄准镜中的步进电动机，以及装定瞄准镜中瞄准分划的标尺和提前量，然后由炮长瞄准后进行射击。

二、传感器

传感器是一种将被测物理量转变为与之有确定对应关系的电量，并且向外输出的测量装置。由于它可以精确测量某些重要参数，因此可使控制系统控制精度大大提高。

为了提高弹道计算精度和首发命中率，现代坦克火控系统中都配备有数种弹道修正传感器，其作用就是把影响首发命中率的因素定量地测量并输入计算机，然后由计算机按相应的计算模型解算修正量后用于火炮射击控制。

按照测量数据输入计算机的方式，弹道修正量传感器可以划分为自动和半自动两种。自动弹道传感器包括距离传感器、目标角速度传感器、火炮耳轴倾斜传感器等。半自动弹道传感器需要将测量数据人工、手动输入计算机，如炮口基准传感器等。

一般来说，距离目标角速度、火炮耳轴倾斜和横风传感器是现代坦克火控系统常备的传感器。

（一）炮耳轴倾斜传感器

倾斜传感器用来测量坦克火炮耳轴的倾斜角度，并以模拟量形式输入火控计算机。火炮耳轴的倾斜对射击的影响很大。但采用耳轴倾斜传感器后，通过火控计算机对弹道的修正，耳轴倾斜的影响基本可以得到消除。

不同的射击方式，出现过不同的耳轴倾斜传感器。磁倾针式、重力摆式传感器主要用于以静止射击为主的火控系统中，伺服加速度计式倾斜传感器用于以行进射击为主的火控系统中。

我国某主战坦克所用的是伺服加速度计式倾斜传感器的测量范围： $\theta \leq \pm 250 \text{ mil}$ ，测量误差： $\Delta\theta \leq \pm 6 \text{ mil}$ 。

倾斜传感器结构上由敏感倾斜角的倾斜仪和壳体两部分构成。倾斜仪包括敏感头、敏感头伺服电路、信号输出电路和电源电路；壳体用来固定、保护倾斜仪，内有减振装置。

倾斜传感器功能上是由伺服加速度计和信号放大电路构成的，伺服加速度计输出的倾斜角度信号经放大、滤波和限幅后，作为倾斜传感器的输出，其方框图如 5-2-5 所示。



图 5-2-5 倾斜传感器原理方框图

伺服加速度计的工作原理如图 5-2-6 所示。当 X—X 轴处于水平位置时，质量块 M 在 X—X 轴方向上不受重力作用，伺服加速度计输出为零；当 X—X 轴转动时，质量块 M 在重力作用下沿 X—X 轴产生位移，位置传感器 AC 输出信号经伺服放大器放大后，输出电流产生电磁力使质量块 M 回到零位，在负载 R_L 上取出信号，该信号与倾斜角度成比例关系。

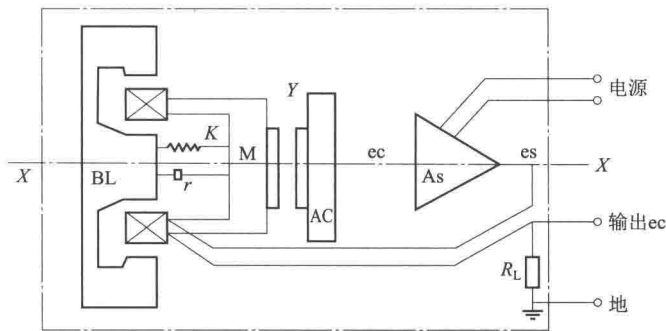


图 5-2-6 伺服加速度计的工作原理

（二）炮塔角速度传感器

在某主战坦克稳像式火控系统中，炮塔角速度传感器采用测速发电机，它可在装表工况下向计算机提供目标水平向运动的角速度信号。

炮塔角速度传感器由齿轮传动机构、直流测速发电机和放大器组成。它安装在炮塔上，其齿轮与车体的齿圈相啮合。当炮塔转动瞄准跟踪目标时，齿轮传动机构带动测速发电机转动发电，所发电压与炮塔的转速，即目标运动的水平角速度成正比，该电压再经放大器放大、标定就得到了目标水平运动角速度信号。

（三）横风传感器

我国某型号主战坦克火控系统热丝式横风传感器（图 5-2-7），采用热线恒温平放双丝测量方式。这种传感器的可靠性好，可以满足全天候条件下作战的要求。

一根金属丝，通以一定的电流，使其发热，当风吹过金属丝时，一部分热能被带走，金属丝的温度会下降。根据金属丝的阻值变化即可测量风速的大小。热线式横风传感器的工作有两种方式，一种是恒流方式：给金属丝一个恒定的电流，测量其电压，可以算出风速。另一种是恒温方式：让热丝工作在一个固定的温度上，风速不同，带走的热量不同，反馈电路自动调节金属丝上的电压可以使其温度保持恒定，根据加在金属丝上的电压大小也可以计算出风速的大小。后者的测量精度要高于前者的。

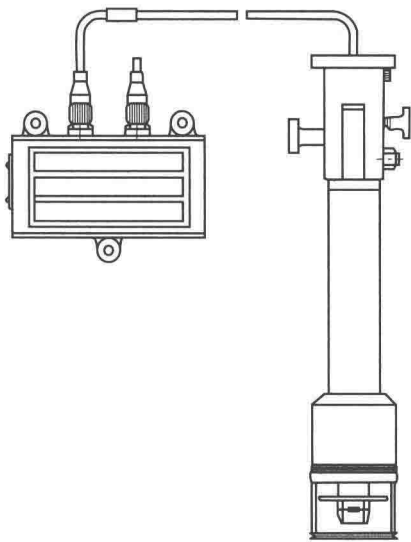


图 5-2-7 热丝式横风传感器外形图

单根热丝无法测量风的方向。平行放置双丝测量法是在一根绝缘棒的两侧对称设置两根金属丝，分别感受来自左、右两个方向的风力。根据两根金属丝上的电压，可以计算出横风量和风向。采用双丝工作方式，即两根丝同时感受到环境的变化，并做差模运算，就可以彻底消除环境变化对测试的影响，因此这种方式具有很好的环境适应能力。

热丝式横风传感器的原理如图 5-2-8 所示。

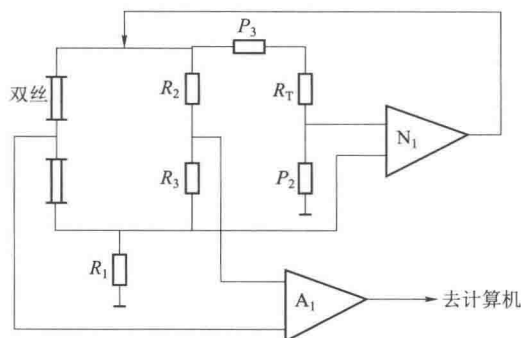


图 5-2-8 热丝式横风传感器原理图

两根金属丝与电阻 R_3 、 R_2 构成一个桥路 A，桥路 A 有一个初始平衡状态。当某一个方向有风时，感受风的金属丝温度会降低，电阻增大，桥路 A 会失去平衡，就有信号输出，该信号经过 A_1 处理作为横风信号输出给火控计算机。桥路 A 整个作为一个桥臂与 R_T+P_3 、 P_2 、 R_1 构成一个桥路 B，桥路 B 有一个初始平衡状态，当桥路 A 有信号输出时，桥路 B 也失去平衡，其信号输出给 N_1 ， N_1 成为负反馈桥路 A 和 B

的驱动电流，使温度降低的金属丝升温到桥路 A 初始状态的温度，这就是横风探头恒温的工作方式。

除了上面介绍的几种传感器之外，还有炮口校正、炮膛磨损量、气压、气温、药温等多种修正传感器和装置。

第三节 观测瞄分系统

一、炮长瞄准镜

主瞄准镜是坦克观测瞄分系统中最主要的部分，是一种由光学、激光测距、夜视三部分组成的昼夜观测瞄一体式装置，通常为多通道、稳定瞄准线式瞄准镜。光学部分常采用双倍率昼间通道和具有稳像与跟踪功能的电荷耦合器件、电视摄像机、高分辨率监视器等装置；测距部分现在均采用激光测距仪；夜视部分采用微光电视、微光夜视仪或性能更先进的热成像仪，提高了坦克全天候作战能力。在现代坦克最完备的火控系统中，车长和炮长各配备有性能优良的主瞄准镜。

炮长瞄准镜（图 5-3-1）主要是为炮长在坦克内对目标进行搜索、跟踪、瞄准、射击提供条件。该型号炮长瞄准镜采用下反稳像式瞄准镜，具备视场、瞄准线独立稳定，同时还具备火炮位置、目标相对运动角速度、目标距离测量、自动和手动装表等功能。该火控系统除具备稳像火控功能外，还具备简易火控的功能。火控系统工作时，瞄准线独立稳定，火炮随瞄准线运动，并在火炮轴线与瞄准线之间形成需要的弹道补偿角。

（一）构造

炮长瞄准镜由上反射镜、二倍望远镜、陀螺仪、三倍望远镜、校炮机构、角速度传感器、装表机构、左目镜、右侧面板等组成（图 5-3-2）。夜视仪与一倍潜望镜共用一个接口，使用时需相互拆换。

1. 上反射镜

上反射镜组件由壳体、分划投影直角反射镜组、五角棱镜、夜视出射直角棱镜、带框的夜视轴调整光楔、激光防护镜等组成。炮长瞄准镜光学示意图如图 5-3-3 所示。

分划投影系统由夜视出射直角棱镜下方胶合的反射棱镜、光楔和五角棱镜下方胶合的反射棱镜组成。

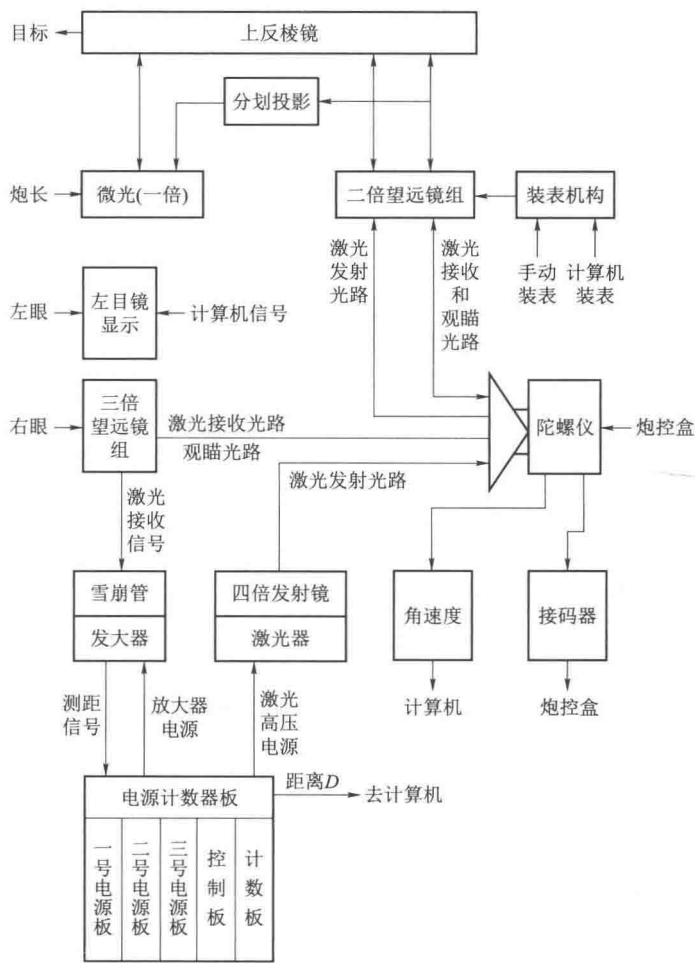


图 5-3-1 炮长瞄准镜

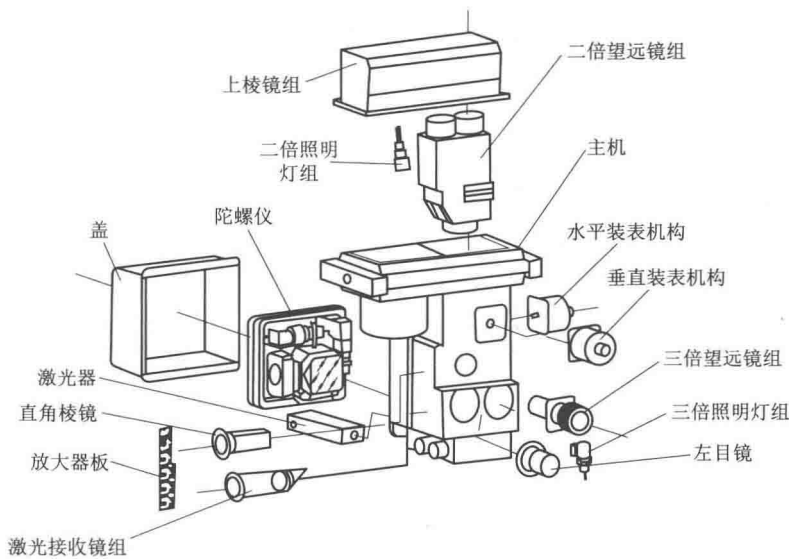


图 5-3-2 炮长瞄准镜结构图

2. 二倍望远镜组件

二倍望远镜组件其由镜筒、发射物镜、发射目镜、斜方棱镜、接收物镜、场镜、带导轨的分划板、接收目镜、左右镜筒等组成（图 5-3-4），作用是为观察、瞄准和激光发射、接收提供光路；为瞄准镜的稳像提供无源补偿、为自动装表和手动装表提供装表用的分划板。

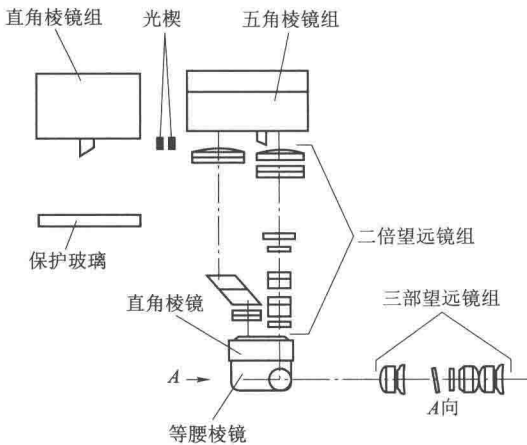


图 5-3-3 炮长瞄准镜光学示意图

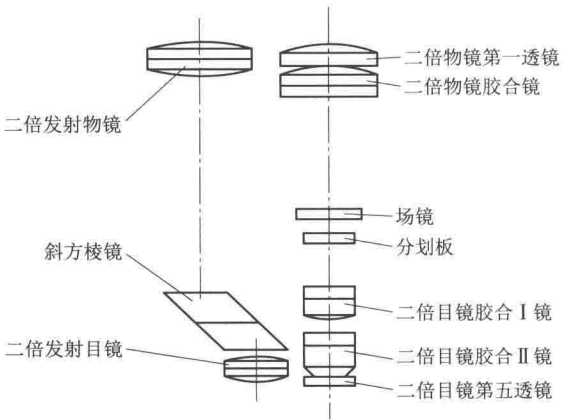


图 5-3-4 二倍望远镜光路示意图

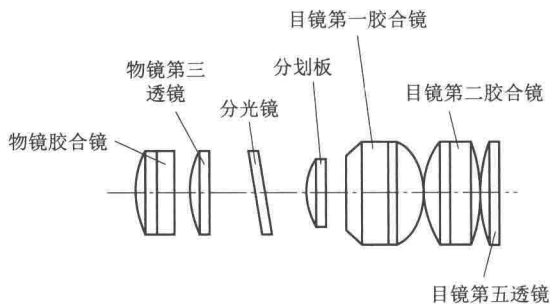


图 5-3-5 二倍望远镜光路示意图

陀螺仪组件包括度陀螺、等腰棱镜、瞄准电磁铁装置、小反光镜、光电转换角度传感器、锁定零位的闭锁电磁铁机构等。

瞄准镜内部的陀螺仪（图 5-3-6）为三自由度陀螺仪，在其内环和外环轴的一端安装有瞄准电磁铁装置，另一端是固定的记忆小反光镜。从陀螺仪本体发射出的宽度仅为 25 μm 的扁平光束经过小反光镜反射，照射到陀螺仪本体上的十位格林码盘，经过码盘的编码，在码盘后的十个硅光电池

3. 三倍望远镜组件

三倍望远镜组件由镜筒、三倍物镜、分光镜、场镜、分划板、三倍目镜等组成（图 5-3-5），用于为瞄准镜的稳像提供瞄准分划，为观察、瞄准和激光接收提供光路。

4. 陀螺仪组件

陀螺仪组件用于为稳定瞄准线和激光发射、接收光线提供稳定的视场，为瞄准镜提供角和角速度传感器，为炮长控制瞄准线提供控制手段。

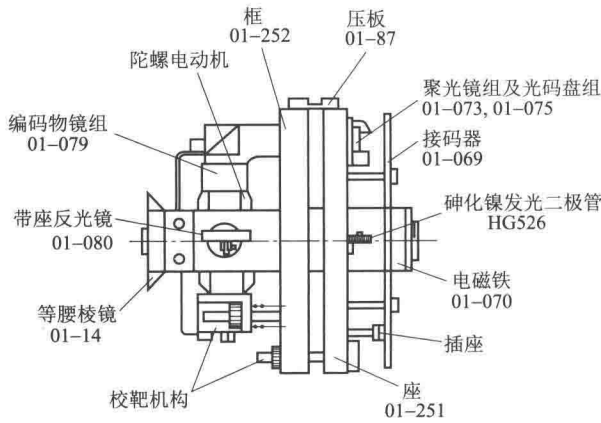


图 5-3-6 陀螺仪部件图

上形成十位二进制数。

瞄准镜的稳像工作是利用陀螺仪的定轴性和二倍望远镜的反向光学角准直特性实现的，而跟踪工作是利用陀螺仪的进动性和二倍望远镜的反向光学角准直特性实现的。

(1) 定轴性

陀螺仪的定轴性是指当陀螺仪转子高速自转动时，转子轴在惯性空间中保持一个固定的方向不变。

图 5-3-7 所示为三自由度陀螺仪原理示意图。三自由度陀螺由转子、内环、外环和基座组成。转子（陀螺）可绕其轴线 $Z-Z$ 高速旋转。转子轴支撑在内环上。内环支撑在外环上，可绕轴线 $Y-Y$ 转动；外环支撑在基座上，可绕 $X-X$ 轴线转动。当基座向各方向转动时，高速转动陀螺的自转轴 $Z-Z$ 能保持原来的方向不变，这种特性称为定轴性。如果在基座上装一个刻度盘，在外环轴上固定一个指针，则当基座绕 $X-X$ 轴线转动时，刻度盘随基座转动，而指针却保持不动，并在刻度盘上指示出基座转过的角度。

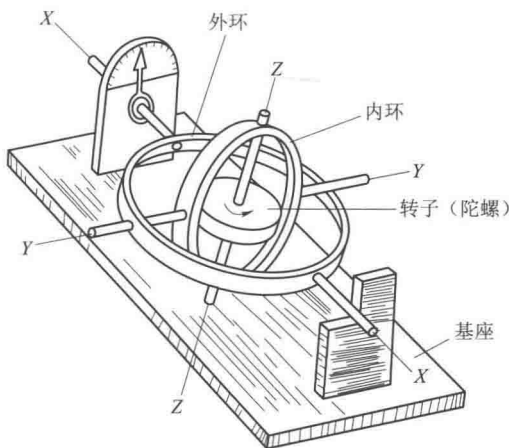


图 5-3-7 三自由度陀螺仪

(2) 进动性

陀螺仪的进动性是指当陀螺仪转子高速自转动时，给内环加力，内环不动而外环进动；给外环加力时，外环不动而内环进动。

当陀螺转子高速转动时，如果在内环上作用一个绕 $Y-Y$ 轴的力矩，内环并不绕 $Y-Y$ 轴转动，而外环却绕 $X-X$ 轴向某一方向转动；反之，如果在外环上作用一个绕 $X-X$ 轴的力矩，外环也不绕 $X-X$ 轴转动，而内环却绕 $Y-Y$ 轴向某一方向转动，陀螺的这种特性叫进动性。

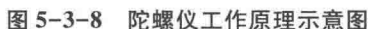
进动的快慢由作用力矩的大小决定，力矩大，进动角速度就大；力矩小，进动角速度就小；作用力矩消失，进动立即停止，外环或内环就停止在最终的位置上，不再返回原位；作用力矩方向改变，进动方向也改变。

(3) 陀螺仪的工作原理

陀螺仪的工作原理如图 5-3-8 所示。陀螺仪转子（即陀螺电动机）高速转动时，稳定地指向惯性空间的某一点，使安装在陀螺仪转子轴一端的等腰棱镜同时被稳定，经过等腰棱镜的瞄准线也同样指向惯性空间的某一点，不受车辆振动、颠簸等各种外界因素的影响。

1) 跟踪瞄准

炮长利用操纵台陀螺仪外环的瞄准电磁铁给外环施加力矩，内环产生转动，转动的方向与外环施加力矩的方向有关。内环的转动使陀螺的转子轴产生方位的转动，并带动其上等腰棱镜的方位转动，直到瞄准线瞄准目标、炮长停止施力时，内环转动才停止，此时瞄准线对准了目标。同理，炮长通过内环的瞄准电磁铁对内环施加力矩，使外环转动，带动瞄准线做高低方向的转动，为炮长控制瞄准线提供了简单易行的方法。



2) 角度传感器

除稳定瞄准线瞄准外,陀螺仪另一个功能是作为角度传感器。在陀螺仪的内、外环轴的另一端分别装有一块反光镜,从陀螺仪底座上两个光源发出的经聚光镜、棱镜、编码物镜等光学系统形成的宽约 $25\text{ }\mu\text{m}$ 的扁平光束,分别射到反光镜上,反射光束穿过固定在底座上的十位格林码盘,照射到十个光电池上形成二进制数。十位二进制数换算成十进制数,数的范围为 $0\sim 1\,023$ 。在瞄准镜初始状态,准线和火炮轴线平时,反射光线刚好通过格林码盘的位置为基准位置,此时硅光电池产生的十进制数为方位向 503、高低向 757。

① 瞄准状态。进行高低向跟踪瞄准时，上下转动操纵台，通过内环瞄准电磁铁给陀螺内环施加相应的力矩。此时，外环进动并带着固定在外环轴上的反光镜一起转动，被反光镜反射的扁平光束位置发生偏转。例如，当向仰角方向瞄准时，硅光电池产生的信号是 $757+e$ ，反之为 $757-e$ ， e 为瞄准误差信号。误差信号经解码器板放大输出给计算机，计算机经过数/模转换，输出一个电压信号给稳定器，使稳定器带动火炮转动，火炮通过连杆带动瞄准镜镜体转动，也带着陀螺仪上码盘和硅光电池一起转动。当转动到反光镜反射的扁平光束照射到码盘 757 位置时，电压信号变为零，转动停止，此时火炮的位置恰好是要求的新的瞄准位置。当进行方位方向瞄准时，只要通过外环的瞄准电磁铁给陀螺仪外环轴施加力矩，让内环进动即可实现，其工作过程和上述相同。

上述过程是瞄准状态下角度传感器的工作过程, 稳定工作状态角度传感器的工作过程如下。

② 稳定状态。稳定工作状态时,平时瞄准线和火炮轴平行。如果某种因素使火炮偏离

了稳定位置，固定在瞄准镜陀螺仪底座上的码盘也随火炮偏转一个角度，由于陀螺仪的定轴特性，内、外环轴上固定的反光镜及反射的扁平光束方向没有变化，结果反射光束照射不到码盘上基准位置，产生一个误差信号，在其作用下，火炮稳定器使火炮向原来位置转动，直至扁平光束又照射到格林码盘的基准位置，误差信号等于零时转动停止，而这时炮的位置就是原来的稳定位置。

5. 校炮机构

校炮机构由框、校炮手轮、弯板、压板等零件组成（图 5-3-9），用于将瞄准线同炮线精确地校正到平行状态。

瞄准镜在高低和方位上各有 30' 的校正范围，无论是在白天还是夜间，通过校正旋钮都能把瞄准线与火炮轴线精确地校为平行。

校炮机构的工作过程如下：瞄准镜右面有两个旋钮，上面为方位向旋钮，下面为高低向旋钮。旋转这两个校炮旋钮，可使陀螺仪的本体在方位向和高低向产生偏转，即通过陀螺仪转子轴上等腰棱镜的瞄准线在方位向和高低向偏转的过程中，寻找同火炮线平行的位置。

方位向校炮时，以框和瞄准镜壳体的左沿为轴，使框和瞄准镜壳体之间的夹角变化，瞄准线在方位向左右偏转，寻找同炮线的平行位置；高低向校炮时，以陀螺仪本体和框的上沿为轴，使陀螺仪本体和框面之间的夹角变化，瞄准线在高低向上下偏转，寻找同炮线的平行位置。

6. 角速度传感器

角速度传感器用于测量目标相对运动的角速度，为火控系统提供目标相对运动的角速度参数。角速度传感器由取样电阻和角速度解算板组成。

为了获取目标的瞬时角速度，瞄准镜从瞄准电磁铁处取电压作为角速度信号。在瞄准镜中，由于陀螺仪外环进动的角速度 ω 和瞄准电磁铁定子及转子线圈中电流的乘积成正比，为简单起见，假定定子和转子线圈中的电流相等，则角度陀螺仪外环进动速度为：

$$\omega = KU^2$$

式中， K ——比例系数；

U ——加在瞄准电磁铁定子和转子两端的电压。

当炮手跟踪匀速运动目标时，如果瞄准分划压在目标中心，火炮瞄准线转动的角速度将等于陀螺仪外环进动的速度，于是，陀螺仪进动的角速度可作为目标运动的角速度。这样，假定由操纵台加到陀螺仪内环和外环上瞄准电磁铁的电压为 U_d 、 U_e ，则有：

方位向角速度，即陀螺仪内环进动速度为：

$$\omega_d = KU_d^2$$

高低向角速度，即陀螺仪外环进动速度为：

$$\omega_e = KU_e^2$$

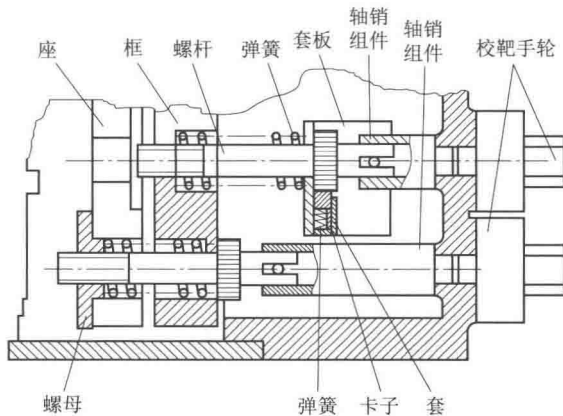


图 5-3-9 校炮机构图

计算机在某瞬时采集到 U_d 、 U_e 信号，并经过模/数转换为数字量后，就可计算出 ω_d 、 ω_e ，然后将其作为目标方位和高低向的瞬时角速度。

火控系统的计算机以 4 次/s 的频率，从瞄准镜的角速度放大器中，采集角速度信号，并存于内存中；然后以 8 个数据的平均值作为目标的相对运动角速度值，并且不断地用新的角速度数据代替内存中的旧数据。

7. 装表机构

装表机构为瞄准镜提供自动装表和手动装表功能，由高低和方位向装表步进电动机、辅助圆分划板、导轨组成（图 5-3-10）。

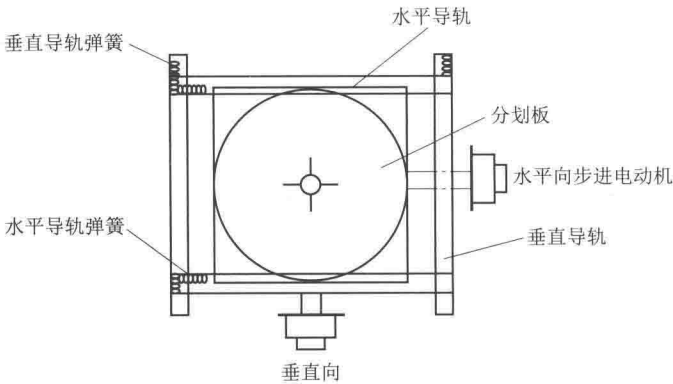


图 5-3-10 双向装表机构示意图

8. 左目镜

左目镜主要用于显示瞄准射击过程中火控系统的装定状态和参数，为炮长的瞄准射击提供各种信息显示。

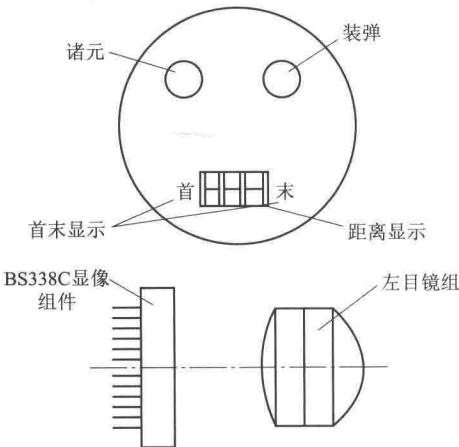


图 5-3-11 左目镜

左目镜由 BS338C 集成显示电路和目镜组、眼罩组成（图 5-3-11）。BS338C 集成显示块由计算机和计数逻辑电路提供各种显示信息，包括目标距离、弹种、火控计算机解算射击诸元给火控装定指示以及激光首、末状态。

（二）稳像和跟踪原理

稳像和跟踪光路原理如图 5-3-12 和图 5-3-13 所示。等腰棱镜为可见光瞄准、激光发射、激光接收三条光路的公用棱镜；上反五角棱镜为该三条光路在方位向上的公用棱镜；直角棱镜则是激光瞄合一的三条光路中高低向的公用棱镜。因此，稳像和跟踪是激瞄整体同步系统。

稳像和跟踪工作原理的基础是陀螺定轴特性、进动特性与负二倍望远系统光学角随机反向准直补偿的有机结合和综合应用。首先，陀螺的定轴特性与二倍望远系统的反向光学角准直特点实现了瞄准镜的稳像工作原理；其次，陀螺的进动特性与二倍望远系统的反向光学角准直特点构成了瞄准镜的稳定跟踪工作原理。

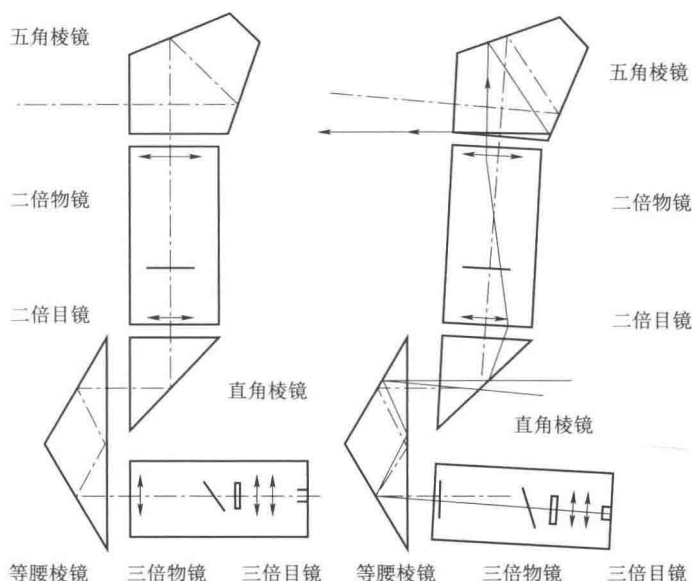


图 5-3-12 稳像光路原理示意图

1. 稳像工作原理

以高低向稳定工作为例说明稳像工作原理。如图 5-3-12 所示，车体摆动而向后倾斜，瞄准镜的激瞄合一主光路受控于陀螺，陀螺的定轴特性使其在无外加力矩的情况下维持原状态不变，此外，位于等腰棱镜前的五角棱镜、二倍望远镜组、直角棱镜、三倍望远镜组均随车体摆动而向后倾 α 。为了达到稳像的目的，目标像进入三倍望远系统的光路走向应保持在三倍望远镜组没有随车体摆动时目标像进入三倍望远系统的光路走向，即沿三倍望远系统光轴的零入射角光路状态，以下简称为零光路状态。因此，可按逆向光路分析系统的光路走向，解释稳像工作原理。

如图 5-3-12 所示，三倍望远系统的光轴随车体摆动而后倾 $-\alpha$ ，沿光轴零光路状态的光束由三倍望远系统的物镜射出，然后射入维持原状态的等腰棱镜。由等腰棱镜射出的光束沿与三倍光轴零光路方向的入射光束成 -2α 的光路走向射入直角棱镜后，又沿车体摆动而后倾 $+\alpha$ 的二倍望远系统实际光轴成 $+\alpha$ 的光路走向射入二倍目镜，然后经二倍望远系统负二倍准直。由二倍望远物镜射出的光束则沿与后倾 $+\alpha$ 的二倍望远系统光轴成 $-\alpha$ 的光路走向射向五角棱镜，最终由五角棱镜射出光束，因为取得 $-\alpha$ 的随机无源自动补偿而沿摆动前的原水平方向射向目标，从而实现了建立独立稳定瞄准线和动态情况下视场稳定、稳像的目标。同理可证当车体侧倾或综合倾斜情况下的稳像工作原理。

2. 稳定跟踪工作原理

在稳像情况下，跟踪目标是通过给陀螺的内（外）框架轴施加力矩来实现的，如图 5-3-13 所示。以高低向跟踪为例，为使瞄准镜独立稳定瞄准线，在高低向稳定跟踪目标时必须给陀螺的外框架轴施加力矩。使等腰棱镜摆动 $+\alpha$ ，那么，沿三倍光轴零光路光束射入等腰棱镜后，出射光束将以 $+2\alpha$ 沿摆动方向射向直角棱镜；经直角棱镜的 90° 折射，出射光束又以与

二倍望远系统光轴成 -2α 方向射向二倍望远系统的目镜；经负二倍的准直后，光束又以与二倍望远系统成 $+\alpha$ 的光路走向射入五角棱镜；最终由五角棱镜射出的光束将以与原指向运动目标的独立稳定瞄准方向成 $+\alpha$ 的光路走向稳定跟踪住目标，达到了稳定跟踪目标的目的。同理可证方位向及综合情况下的稳定跟踪工作原理。

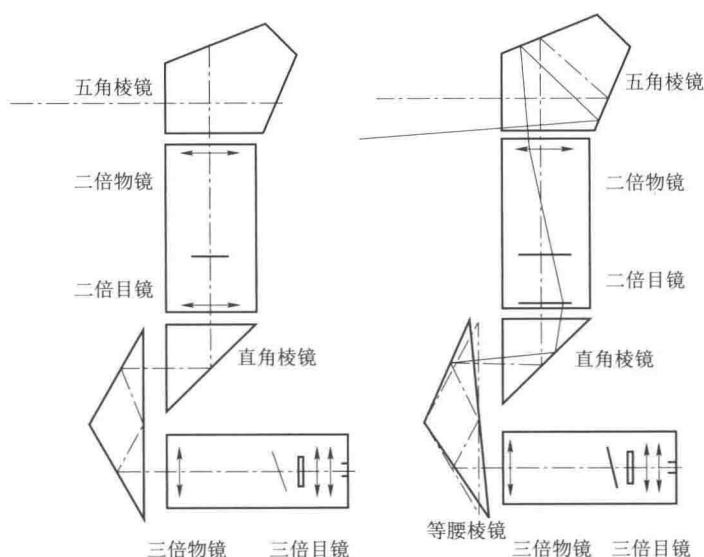


图 5-3-13 跟踪原理示意图

综合以上光学系统的逆向光路分析，瞄准镜的稳像跟踪工作原理是陀螺特性和负二倍随机无源自动光学准直补偿的综合结果。尽管用负二倍望远系统实现负二倍准直补偿的方法存在原理误差，但如果二倍的倍率控制得当，稳像和跟踪精度是完全能满足火控系统要求的。二倍无源自动随机准直补偿的手段无可置疑是下反稳像的特点，它可使稳像、跟踪系统结构紧凑，省略了二倍伺服机构和电路控制系统的复杂要求。

二、测距装置

（一）概述

第一代火控系统测距是炮手采用目测的方法来估计目标的距离，因此火炮的首发命中率很低；第二代火控系统采用了视像或合像式测距仪，炮手可以使用光学测距仪比较准确地测定目标距离，仪器结构简单隐蔽性好，但受能见度影响大，远距离测距精度低；20 世纪 60 年代，第三代火控系统已经采用了激光测距。

激光具有良好的方向性，使 1 000 m 激光光斑直径不超过 1 m 是很容易做到的。通过将这样一束激光照射到目标上，再从目标反射回来，测出往返时间就能确定目标的距离。

激光在大气中传播的速度和在真空中传播的速度非常相近。已知光在真空中的传播速度为 $2.997\,924\,58 \times 10^8$ m/s，用这样一束光去测量目标距离，用时极短。比如测量目标距离为 1 500 m，一个回程是 3 000 m，按光速计算只需 10^{-5} s。

激光测距的基本原理如下：

$$L=ct/2$$

式中, c ——光速 (3×10^8 m/s)。

测量一束激光从发出到返回的时间后, 通过上式就可计算出目标的距离。

利用激光测量距离属于测时法范畴, 根据测定传播时间方式的不同, 可将其分为相位法和脉冲法两种测量方法。

自 20 世纪 60 年代激光测距仪出现以来, 坦克火控系统中先后采用过红宝石激光器、钕玻璃激光器、二氧化碳激光器。

红宝石激光器, 首先用于美国 M60A2 坦克上, 该激光器仪器体积较大。工作在可见光波段, 易暴露。

钕玻璃激光器是当前多数坦克火控系统中使用的激光测距仪, 该激光器工作在近红外波段, 不易暴露、效率高、体积较小、耗电少。

二氧化碳激光器目前已安装在美国 M1A2 主战坦克上, 该激光器穿透战场烟雾与灰尘能力强, 对人眼安全性好, 与现用的热像仪兼容性好、重复测距频率高。

(二) 激光测距仪

1. 激光测距原理

激光测距仪的工作原理如图 5-3-14 所示。

当仪器电源接通后, 按动激光测距仪按钮 K 时, 复零电路使整机复零, 同时触发激励源, 使激光器发出脉冲激光, 激光经发射光学系统的会聚作用射向目标; 同时, 有一小部分发射激光经取样棱镜直接传给接收系统, 作为计时的基准信号, 称为主波信号脉冲。从目标反射回来的回波脉冲与主波信号脉冲会聚后射到光电管, 然后转换为电信号, 电信号经放大整形后形成一定宽度和幅度的矩形脉冲。主波信号矩形脉冲使门控触发器置位, 打开电子门, 这时由时标振荡器产生的时标脉冲通过电子门进入计数器并开始计数; 当回波矩形脉冲到达门控触发器时又使它复位, 关闭电子门, 计数结束。距离的测量结果可由显示器直接显示出来。

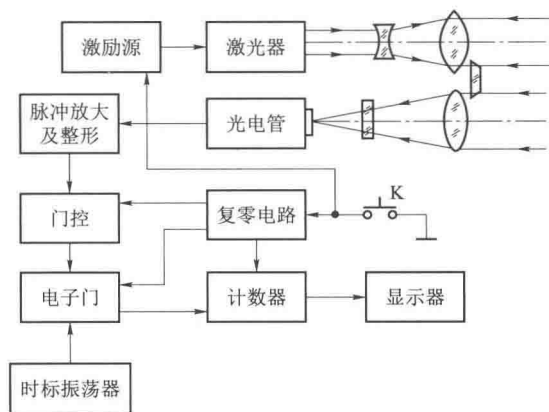


图 5-3-14 激光测距仪工作原理示意图

主波信号矩形脉冲使门控触发器置位, 打开电子门, 这时由时标振荡器产生的时标脉冲通过电子门进入计数器并开始计数; 当回波矩形脉冲到达门控触发器时又使它复位, 关闭电子门, 计数结束。距离的测量结果可由显示器直接显示出来。

2. 构造

国产某型激光测距仪由发射机、接收机、电源计数器盒和左目镜组成, 各组成部分除电源计数器外, 均安装在瞄准境内。

(1) 发射机

发射机主要用于将产生的激光经光学系统调整为发散角小于 1 mrad 的激光, 再向目标发射。它由激光器组件和光学发射系统两部分组成。

激光器安装在瞄准镜下部的长方形壳体内 (图 5-3-15), 由激光棒、脉冲氙灯、聚光腔、触发丝、光学谐振腔组成, 可产生 18 mJ 能量、1.06 μm 波长的激光。

光学发射系统用于过滤、压缩激光发散角，并经光路组件向目标发射激光，由发射盒、四倍发射镜、等腰棱镜、直角棱镜、二倍望远镜、上反五棱镜等组成。光路组成如图 5-3-16 所示。

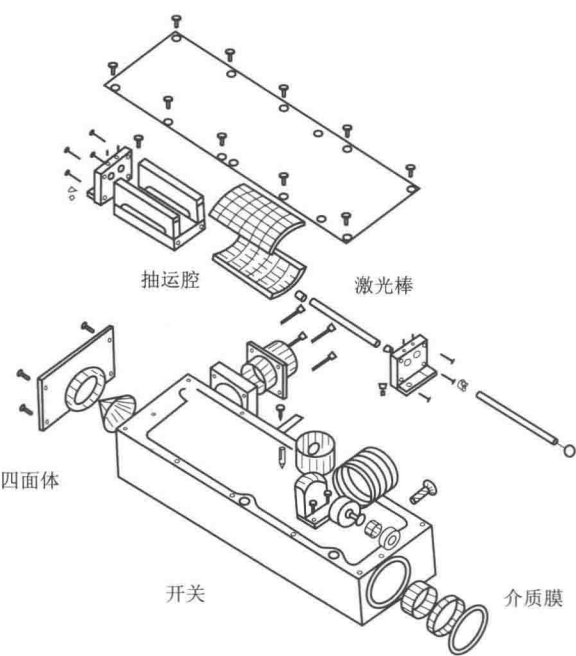


图 5-3-15 激光器构造图

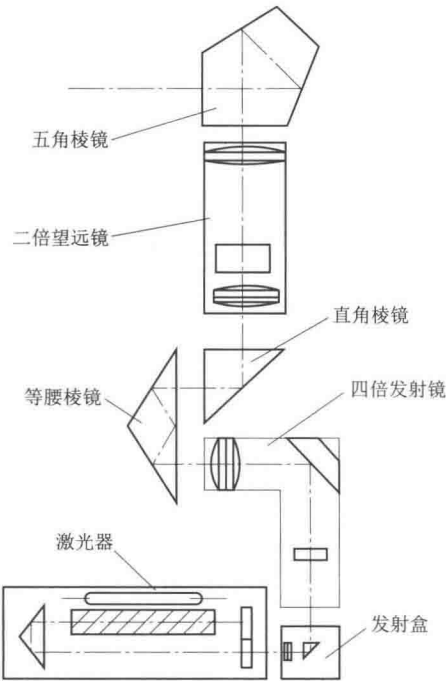


图 5-3-16 激光器光路图

发射盒由壳体、滤光镜、小孔光栏、直角棱镜等组成。滤光镜及小孔光栏用于滤除氙灯可见光，以及调整激光发射轴、激光接收轴、瞄准镜轴间不平行度，使其不大于 0.15 mil (图 5-3-17)。

四倍发射镜用于将激光经四倍准直后送至等腰棱镜，它由壳体、发射目镜、发射物镜、直角反射镜组成 (图 5-3-18)。

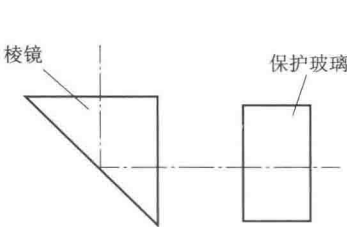


图 5-3-17 激光发射盒光学系统

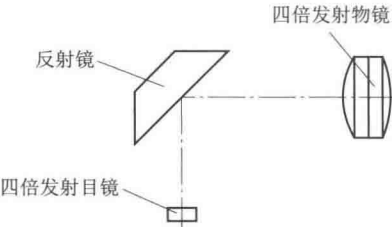


图 5-3-18 四倍发射镜

二倍望远镜有两个作用：一个是作为稳像跟踪用补偿元件；另一个是继续将激光准直，使束散角小于 1 mrad。

(2) 接收机

接收机用于接收目标反射回来的激光信号，并对其进行品质处理和光电转换，将转换的电信号整形放大后输往计数器电路。它由光学接收系统和转换与整形放大电路组成。

光学接收系统光路如图 5-3-19 所示，它先对激光回波信号进行稳定和聚焦、调整接收轴，然后用光路中的滤光镜滤除掉 1.06 μm 波长激光外的其他光波，从而提高光路系统的抗扰能力。

信号转换和整形放大电路的作用是将激光信号转换为电信号，然后经整形放大后输出，它由有光电雪崩二极管、放大器电路组成（图 5-3-20）。

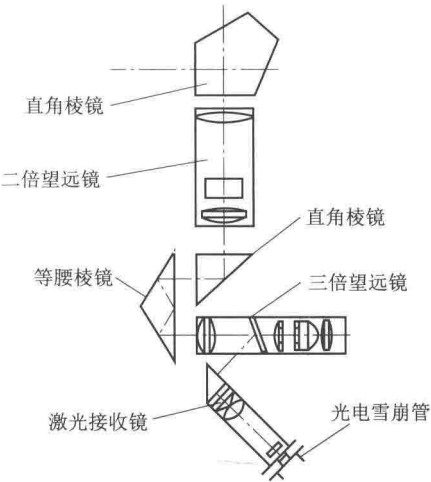


图 5-3-19 激光发射盒光学系统

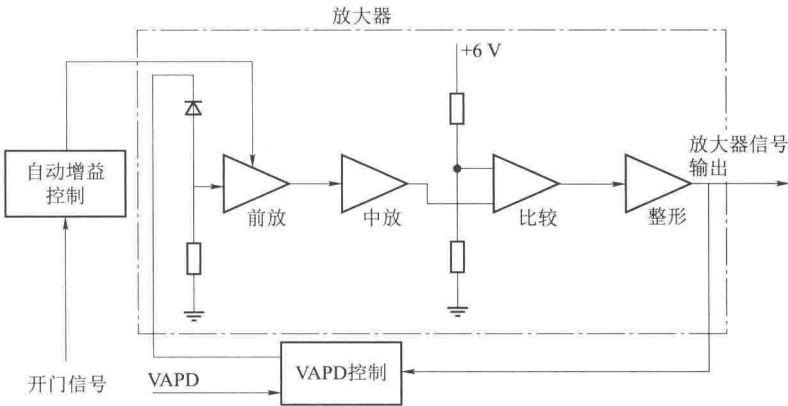


图 5-3-20 信号转换和放大整形电路工作原理框图

(3) 电源计数器盒

电源计数器盒用于提供测距仪所需的高、低压直流电源，并产生测距控制信号和时序，将计算出的目标距离值同时输至火控计算机和左目镜显示器中，它主要由五块电路板和一個电位器组成。

三、夜视装置

为满足坦克装甲车辆夜战的要求，火控观瞄系统中都配备有各种夜视装置。目前，坦克装甲车辆火控系统中使用过的夜视仪器主要有主动红外夜视仪、微光夜视仪和热像仪。

(一) 主动红外夜视仪

主动红外系统主要由光学系统、红外变像管、红外探照灯（在普通照明灯前加滤光片）及高压电源组成（图 5-3-21）。红外变像管是一种能把非可见的红外或紫外辐射图像转换为可见光图像的光电子器件。当红外探照灯照射到目标时，光学系统中的物镜接受目标反射回来的红外辐射，在红外变像管的光电阴极面上形成目标的红外图像，红外图像经过变像管的光谱转换、亮度增强和电子成像，最后在荧光屏上显示出目标的可见光图像。

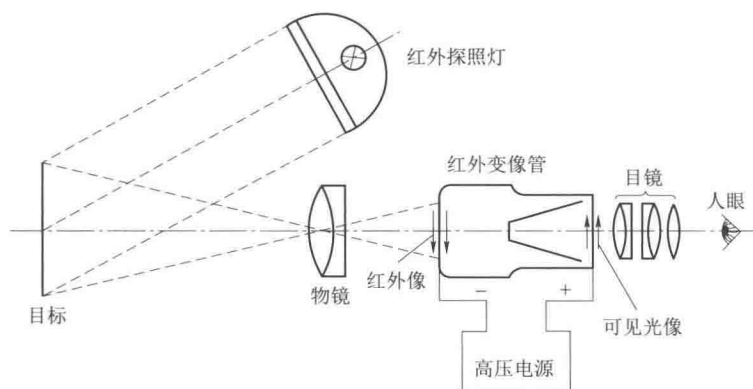


图 5-3-21 主动红外夜视系统原理图

主动红外夜视系统具有成像清晰、不受环境照明影响的优点，其缺点是主动红外易被对方侦测，极易暴露，并且系统笨重。目前主动式红外夜视系统已被其他夜视系统所取代。

（二）微光夜视仪

微光夜视系统有微光电视和微光夜视仪两种。

1. 微光电视

微光电视诞生于 20 世纪 40 年代，70 年代迅速发展起来。它是像增强管和电视摄像管相结合的微光夜视系统，装有自动控制光阑，采用被动工作方式，可以在景物照度 10^{-1} lx 以下的微弱光线下工作。

典型的微光电视系统主要由视像管和监视器构成。视像管是小型电视摄像管，一端装有一个光电导靶，另一端是电子枪。电子枪产生电子束扫描光电导靶的背面，当景物辐射时，由于靶的光敏材料的导电性，光电导靶局部充电，生成正电荷图像，电子束扫描时依次释放各像素的正电荷；然后，释放的电子流入电子电路生成视频信号，传送给监视器的阴极射线管以显示所观察到的景物。

法国汤姆森无线电公司于 1964 年开始致力于微光电视系统的研制，1976 年为 AMX—10RC 侦察车制造了 DIVT 13 系统。随后，AMX—30 坦克上也采用了类似系统。典型微光电视还有法国的坦克用的“卡纳斯特”微光电视系统、美国的直升机用 UVR—700 型昼夜两用电视跟踪系统、英国的海军用 V0084 型微光电视系统、瑞士的 2704 型远距离（观察距离为 10 km）微光电视摄像机等。

微光电视系统能在两个或多个显示器上显示被观察的景物，这样，坦克炮长和车长就能同时看到被观察的同一图像。另外，微光电视系统还具有成像面积大、直观性强等优点。

2. 微光夜视仪

微光夜视仪是利用光增强技术的光电成像系统，采用被动工作方式，在军事、天文、公安和科研等部门中有广泛的应用。

美国在 1962 年研制出的第一代直视型微光夜视仪（又称星光镜），于 1965 年首次用于越南战场，其核心部件为三级级联像增强器。像增强器是一种具有光谱变换功能、能够增强极微弱光图像亮度，以满足人眼观察和电视摄像要求的器件。

1970 年，第二代微光夜视仪核心部件为微通道板型像增强器。1979 年，第三代微光夜

视仪采用 GaAs 光电阴极为核心部件，在星光条件下可见距离约为 400 m，对坦克的夜瞄距离为 1 000~1 500 m。

(1) 构造

我国某型微光夜视仪是瞄准镜的一个组件。它含有二代像增强器的 7 倍夜间望远镜，可在星光及月光或大气辉光等微弱光照下，以及无任何辅助照明条件下进行夜间观察、搜索目标、瞄准发射，使坦克具备夜战能力。

该微光夜视仪由物镜组主机架、像增强器及目镜组三部分组成（图 5-3-22），其光路图如图 5-3-23 所示。

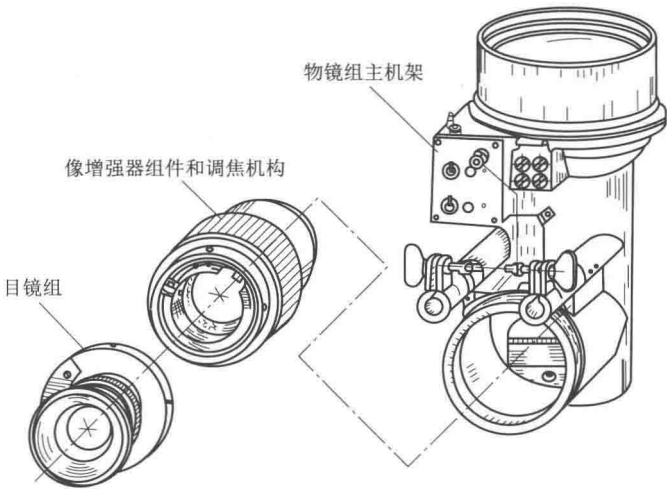


图 5-3-22 微光夜视仪大部件构造

物镜组主机架包括物镜光学件、反射镜，像增强器和调焦机构安装在物镜组主机架上。物镜组件功能是在调焦机构作用下，将有限距离（大于 20 m）至无限距离上的目标成像在像增强器阴极面上。

物镜装在物镜筒内，物镜组由透镜 I、透镜组 II、透镜组 III、透镜组 IV 组成。

目标光线经物镜组会聚并经反射镜反射后，成像于像增强器光阴极入射窗上。调焦机构用于调整像增强器轴向位置，使 20 m 至无限远距离上的目标均可在像增强器上清晰成像。

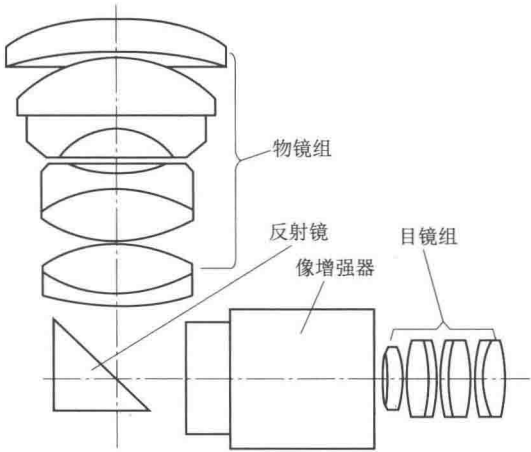


图 5-3-23 微光夜视仪光学系统图

像增强器是微光夜视仪的关键器件，它对夜间目标反射的微弱光线（星光、月光或大气辉光等）进行亮度增强，使夜视仪可以在夜间进行观察。像增强器装在物镜筒后，固定在光栏座筒内，由光电阴极、微通道板、荧光屏、光学纤维窗等组成。

如图 5-3-22 所示, 该型号像增强器属于微通道式。微通道板由数十万微通道丝集束而成。微通道丝是一根直径几微米的细玻璃管, 其内壁涂敷二次电子发射材料, 在两端施以较高的直流电压。入射电子 (即一次电子) 从负端进入通道时, 因电场作用而获得能量, 入射电子撞击管壁而诱发出更多的二次电子。这些电子继续向正端飞行时, 又获得能量并再一次撞击管壁而产生更多的二次电子。如此连锁反应, 在输出端即可获得很高的电子增益。

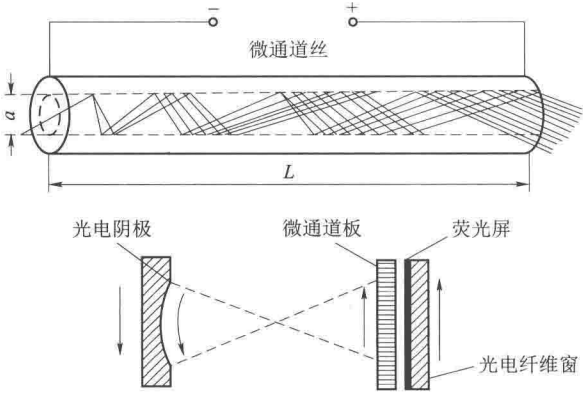


图 5-3-24 微光夜视仪光学系统图

像增强器的光电阴极位于物镜的焦平面上。在夜间, 目标发出的微弱光线会聚在光电阴极上, 经光电阴极的光电效应产生电子图像。电子在电场的作用下加速, 入射到微通道板上, 经微通道丝获得很高的增益。电子打在荧光屏上形成可视的目标图像 (图 5-3-24)。

目镜组用于观察荧光屏上的目标及分划像。目镜装在像增强器后端, 配有

物镜保护盖、护额和护眼罩以及寒区冬天工作时防霜镜附件 (图 5-3-25)。目镜组有视度调节装置, 眼罩可以阻挡周围的杂散光进入, 以免影响观察效果。

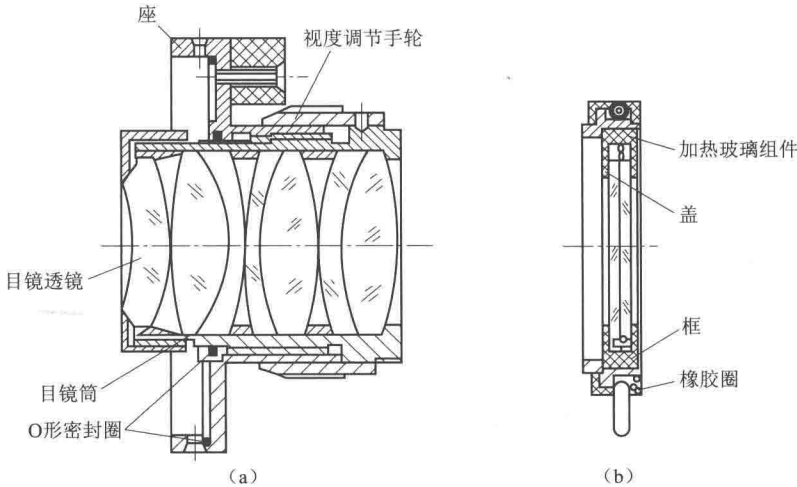


图 5-3-25 目镜和防霜镜附件

(a) 目镜组; (b) 防霜镜 (加热器) 附件

(2) 工作原理

微光夜视仪安装在瞄准镜上, 接通电源后像增强器开始工作。分划投影系统由准直仪将夜视分划像投射到微光夜视仪视场中, 通过调焦物镜将目标和分划像均成像在像增强器阴极面上, 并转换成光电子, 光电子经电子透镜加速会聚, 在微通道板入口面上成像; 电子流再由微通道板放大并增强后轰击荧光屏, 输出人眼可见亮度的图像。此图像的光线进入目镜后, 会经过目镜的视度调节, 然后, 炮长即可以从目镜中看到清晰的目标与分划图像。

夜视投影分划是经过昼视通道投影到夜视光路中的,因此夜视仪使用时的弹道修正与激光测距仪的情况一致,瞄准方式相同。

微光夜视系统采用被动方式工作,有着隐蔽性好、图像质量好、体积小、质量小、价格较低的特点。但其受自然照度和大气透明度影响较大。

(三) 热像仪

针对主动红外夜视仪隐蔽性不好、微光夜视仪易受气象及环境影响的缺点,20世纪70年代成功研制出了红外热像仪,它是一种被动工作方式的夜视仪器。

一切物体,只要温度高于绝对零度,就会有红外辐射。热像仪就是根据高于绝对零度(-273°C)的所有物体都辐射热能的物理特性,利用目标与背景的温度差来探测和识别目标,即利用热对比度成像的,其所成像是热图像。具有军事意义的目标(如坦克、飞机等)的温度一般都比周围环境的温度高,因此也就成了热像仪最好的观察对象。

热成像夜视仪是目前技术最为先进的夜视器材,第一代产品为光机扫描型热成像仪,第二代是采用红外 CCD 焦平面阵列技术的凝视型热像仪。目前正在研制的第三代热像仪,其核心材料采用碲镉汞和氧化钒,能够工作在多波段,并且高温性能好。

1. 光机扫描型热成像仪

第一代热像仪为光机扫描型热像仪,主要由红外探测器(含制冷器)、光学系统(含扫描器)、电子放大线路和显示器等几部分组成(图 5-3-26)。其中,红外探测器基于光电效应进行光电检测,是热成像仪的核心部件和关键技术。为保证红外探测器具有足够的探测灵敏度,需由专门的制冷器对其进行低温制冷(图 5-3-27)。

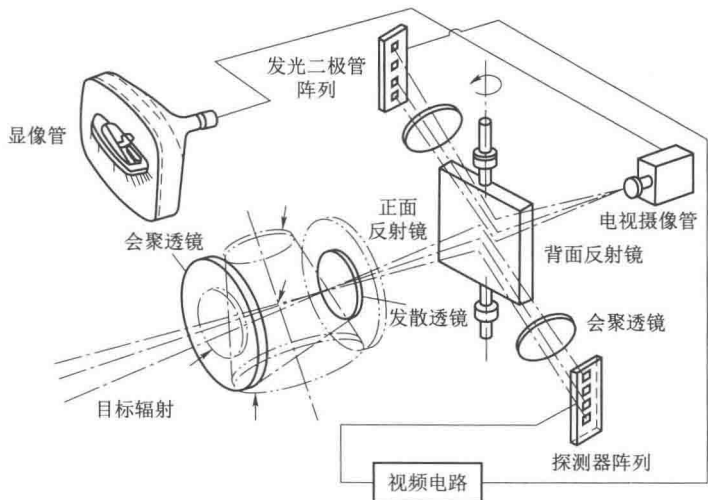


图 5-3-26 光机扫描型热像仪基本结构

目标自身发射出的热辐射通过红外物镜和光机扫描器照射在红外探测器上,红外探测器将热辐射转换成电信号,电信号经电子线路处理放大后被送至显示器(如发光二极管),形成可见光。观察者通过扫描器和目镜,或利用监视器,便可以观察到目标的热图像。

第一代光机扫描型热像仪最初被装在武装直升机上,于1967年由美国空军首次用于越南军事活动,用来提供远距离空中支援。1977年第一代光机扫描型热像仪被安装在美国 M1 坦克上。光机扫描型热像仪是目前使用较多的夜视器材。

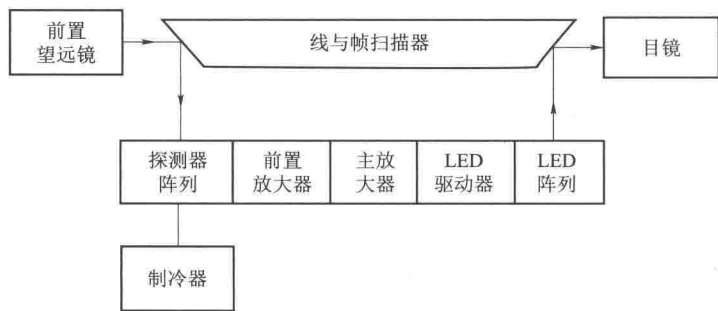


图 5-3-27 热像仪功能图

2. 凝视焦平面阵列热像仪

第二代热像仪取消了光机扫描器，取而代之的是采用红外 CCD 焦平面阵列。红外焦平面阵列是指放在光学系统焦平面上的一块芯片，这块芯片大小与邮票相同，上面不但集成了上千万个红外探测器，而且集成了与各探测器相匹配的信号放大与处理电路。探测器与电路一起形成一个整体，能够像眼睛一样摄取目标完整的图像。第二代热像仪缩小了体积，降低了功耗，并且 CCD 成像器件具有更高的灵敏度和热分辨率，使探测距离和识别能力也有明显提高。当前，国外已开始使用这种坦克用凝视焦平面阵列热像仪。

目前正在研制的是能在多波段工作、高温性能好的第三代“灵巧”凝视大阵列焦平面热像仪，其核心材料为碲镉汞、氧化钒、锑化铟（InSb）、量子阱（QWIP）等，焦平面器件具有双色（或多色）、大面阵、高帧速率和高温度分辨力等特征。

四、车长观察装置

我国某型主战坦克车长观察装置分为车长昼间观察镜和车长夜间观察镜。昼视镜和肘形夜视仪共用一个头部反射镜，两个镜子可以在车内迅速互换。

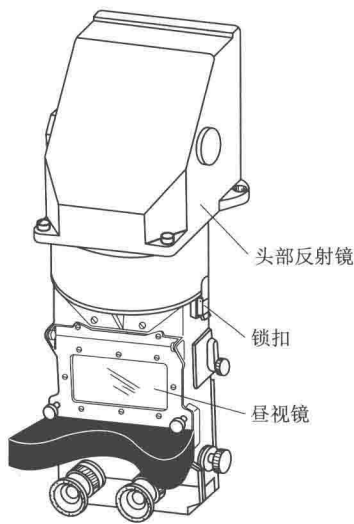


图 5-3-28 车长昼间观察镜

车长观察镜瞄准线高低向的移动由头部反射镜手动操纵装置驱动反射镜的俯仰来实现。高低向可观察到 $-10^{\circ} \sim +20^{\circ}$ 的俯仰范围，也可将反射镜分别固定在 -10° 、 0° 、 $+10^{\circ}$ 、 $+20^{\circ}$ 四个角度上进行观察。车长观察装置靠指挥塔的 360° 旋转做全视场观察。

（一）车长昼间观察镜

车长昼间观察镜用于白天或光线较好时对坦克周围目标及远距离目标的观察。

车长昼间观察镜（图 5-3-28）由头部反射镜、昼视镜以及壳体等组成。

1. 头部反射镜

头部反射镜组件（图 5-3-29）装在指挥塔外前部，由前窗保护玻璃、反射镜、镜座、下窗保护玻璃和壳体组成。头部反射镜安装反射镜的传动组件和反射镜操纵机构，控

制反射镜以实现瞄准线的俯仰。

(1) 反射镜的传动组件

反射镜的传动组件（图 5-3-30）由卡锁螺钉、限位螺钉、推杆、转轴、传动臂和活动塞组成。传动臂与反射镜的转动轴连接，并由活塞与推杆分别从上、下方向顶紧，将其俯仰范围限制在 $-10^{\circ}\sim+20^{\circ}$ 内。

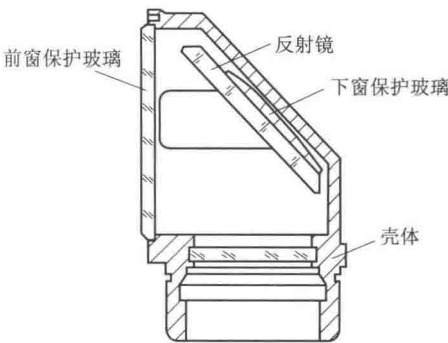


图 5-3-29 头部反射镜组件

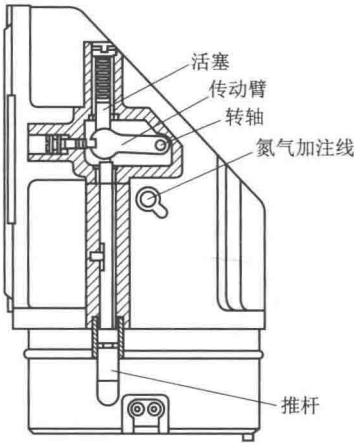


图 5-3-30 反射镜的传动组件

(2) 反射镜操纵机构

反射镜操纵机构（图 5-3-31）用于控制反射镜，以实现瞄准线高低向 $-10^{\circ}\sim+20^{\circ}$ 范围内的俯仰，操纵机构有连续和固定位置两种工况。反射镜的传动与调整如图 5-3-32 所示。

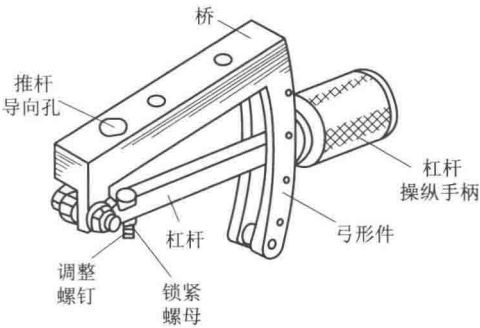


图 5-3-31 反射镜操纵机构

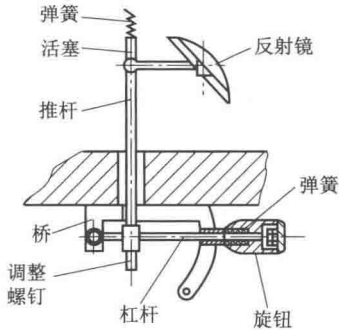


图 5-3-32 反射镜的传动与调整

2. 昼视镜

头部反射镜与昼视镜中的反射镜构成 1 倍昼视观察系统，与昼视镜中的望远系统组成 5 倍昼视观察系统。车长昼视镜是由 59 式坦克指挥潜望镜改装而成的。5 倍观察系统右目镜视场中有分划板，刻有高低、方向和测距分划。

(二) 车长夜间观察镜

车长夜间观察镜用于夜间或光线微弱情况下，对周围目标或远距离目标的观察，它由肘形夜视仪通过连接套筒与头部反射镜连接构成 7 倍夜间观察系统。

1. 肘形夜视仪

肘形夜视仪是一具含有像增强器的 7 倍夜间望远镜，可以在无任何辅助照明光源的条件下进行夜间观察。夜间分划投影系统将分划像投影到夜视光路中。

肘形夜视仪利用夜视分划对夜间目标进行瞄准。通过连接套过渡，肘形夜视仪还可以与车长昼视观察镜互换，作为车长夜间观察和指挥仪器使用。

(1) 构造

肘形夜视仪的结构如图 5-3-33 所示，由物镜组、主机架和目镜组组成，另外，还配有物镜护盖和护眼罩。肘形夜视仪的光学系统如图 5-3-34 所示，由物镜、像增强器、转像系统和目镜组成。

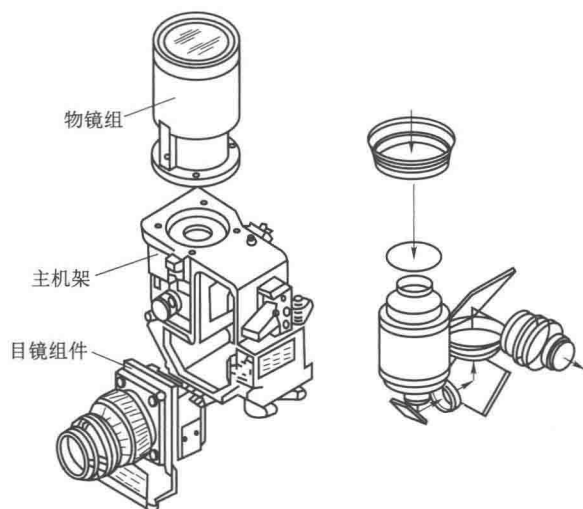


图 5-3-33 肘形夜视仪结构

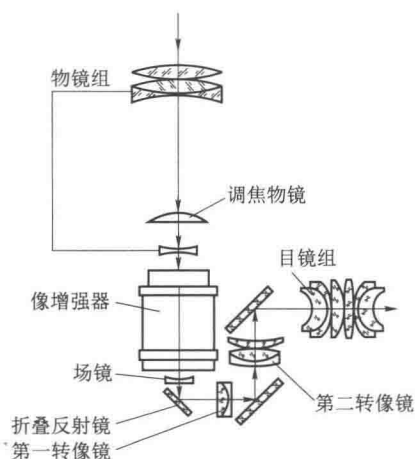


图 5-3-34 肘形夜视仪光学系统

物镜组件包括光学件和焦距调整机构，如图 5-3-35 所示，其功能是在调焦机构作用下将有限距离（大于 20 m）至无限距离上的目标成像在像增强器阴极面上。物镜组由前组透镜、调焦透镜和场曲校正透镜组成。调焦机构用来调整调焦物镜的轴向位置，使从 20 m 至无限远距离上的目标均可在像增强器上清晰成像。

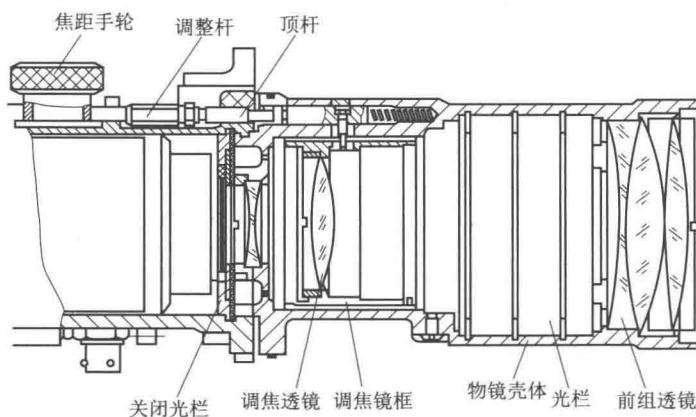


图 5-3-35 物镜组件

主机架是肘形夜视仪主要组件的安装基体，主机架内装有像增强器、调压电路、电源工作方式指示板、电池盒、电源（光栏）开关和像增强器的连接器与电源输入座。

像增强器是肘形夜视仪的中心器件，可对夜间目标指向的微弱光线（星光、月光或大气辉光等）进行亮度增强，使肘形夜视仪可以在夜间进行观察。

中继目镜分组（图 5-3-36）由中继转像系统和目镜组组成。

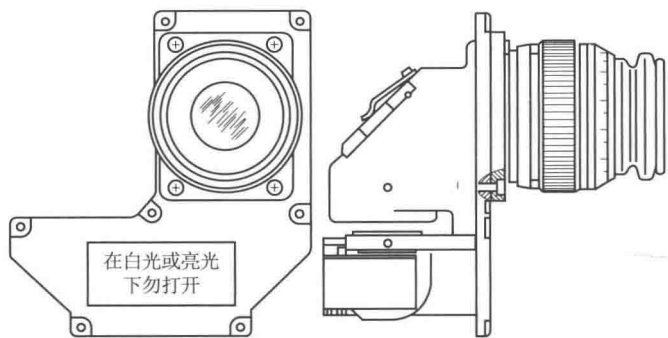


图 5-3-36 物镜组件

中继转像系统（图 5-3-37）包括场曲校正透镜，折叠反射镜和第一、第二转像镜，中继转像系统将像增强器荧光屏上的像折转投射到便于观察的位置。

目镜组（图 5-3-38）用于观察从中继转像系统投射的荧光屏像，目镜组有视度调节装置，另外，加有眼罩可以阻挡周围的杂散光进入眼睛，防止影响观察效果。

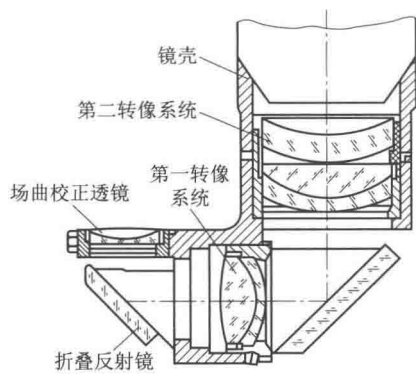


图 5-3-37 中继转像系统

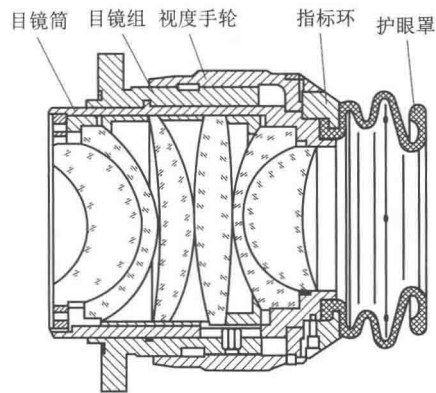


图 5-3-38 目镜组

(2) 肘形夜视仪工作原理

肘形夜视仪安装在瞄准镜上，接通电源后像增强器开始工作，分划投影系统中准直仪将分划像投射到肘形夜视仪的视场中，物镜将目标和分划像均成像在增强器阴极面上，阴极面将输入光（光子）转换成光电子，然后再由光电子转换成光子，并显示于像增强器的输出荧光屏上。由中继转像系统进入目镜，即可以从目镜中看到清晰的目标与分划图像。

2. 连接套筒

连接套筒的结构如图 5-3-39 所示，由接合盘、锁扣、螺钉座、护额架固定螺钉、护额固定螺钉、护额及头部反射镜定位销槽组成。

五、驾驶员观察装置

驾驶员观察装置有驾驶员观察镜和驾驶员夜视仪。

(一) 驾驶员观察镜

驾驶员观察镜用于驾驶员降座驾驶时观察路面目标情况，结构如图 5-3-40 所示，它由光学系统、镜壳、自控线路及插座组成。

光学系统由上、下棱镜组成。导电玻璃内表面镀导电膜层，外表面镀憎水膜层，在下棱镜与镜壳之间隙注有聚硫橡胶，起固定棱镜和密封作用。在镜壳后部的自控元件对导电玻璃加温过程进行自动控制。

该观察镜具备自动防霜功能。另外，导电玻璃外表面憎水膜层，可使水汽在玻璃表面上不形成雾状，而聚成水珠流走。

(二) 驾驶员夜视仪

驾驶员夜视仪用于夜间驾驶员对路面及目标的观察。

驾驶员夜视仪的构造如图 5-3-41 所示。头部与物镜套筒连接，安装后伸出车体之外，用于观察车辆前方路面。主壳体内装有像增强器和电气元件，两端分别与物镜组、目镜组件连接。支承座与支撑臂用于车内安装和固定，此结构既满足与驾驶镜安装互换的要求，又能保证镜体水平左、右旋转，以获得更大的水平视场。

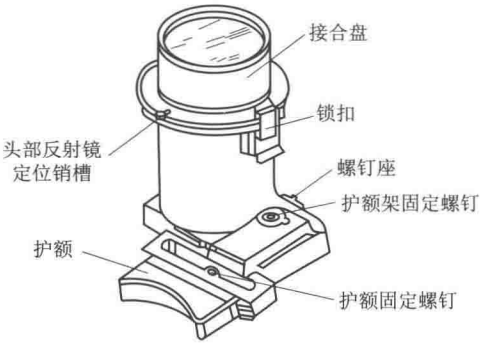


图 5-3-39 连接套筒

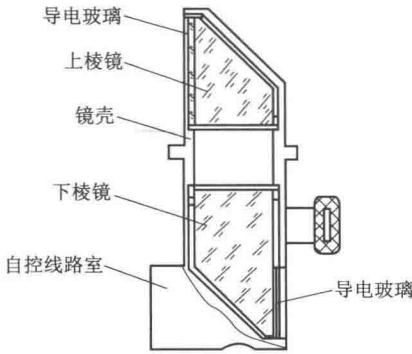


图 5-3-40 驾驶员观察镜

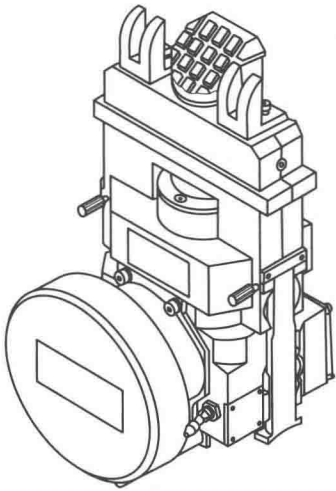


图 5-3-41 驾驶员夜视仪

驾驶员夜视仪采用被动工作方式，其主要工作过程如下：电源接通后，像增强器开始工作，视场中目标图像通过上转向棱镜进入物镜组，成像在像增强器的输入阴极面上；目标像在此进行光电转换电子像，经过电子增益和能量放大后迁移到像增强器的屏幕（阳极）上，变成可见光像，再通过下棱镜折转和目镜组对图像的放大，观察者从目镜内就可以看到清

晰、明亮的目标图像。

六、高射机枪瞄准镜

高射机枪瞄准镜用于瞄准空中飞机、伞兵、照明弹等射击目标，它被安装在高射机枪瞄准箱内，由镜体（图 5-3-42）和光学系统（图 5-3-43）两部分组成。



图 5-3-42 镜体

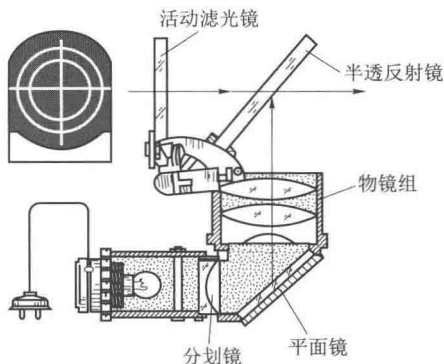


图 5-3-43 光学系统

镜体为一直角弯管，用两个卡箍固定在高射机枪瞄准镜箱架上，它也可以安装供夜间射击照明用的分划照明装置。

光学系统由分划镜、平面镜、物镜组、半透明反射镜和活动滤光镜组成，其成像原理是：当透过分划镜的光线射到平面镜上时，平面镜将其反射到物镜上。光线经物镜放大后，以平行光线照射到半透明反射镜上，再经反射镜反射到射手眼里。由于目标影像是直接经半透明反射镜进入射手眼里的，因此射手能同时看到目标和分划镜上的分划与照准环。

七、双向独立稳定车长周视镜系统

传统的车长光学瞄准镜不能满足现代坦克火控系统的作战要求。现代车长周视镜是一部瞄准线双向稳定的光机电瞄准镜，以其为中心组成的车长周视镜系统具有独立周视观察、超越调炮、超越射击、夜间作战等功能。

（一）车长周视镜系统组成

我国某新型主战坦克车长周视镜系统由车长周视镜、车长控制盒、周视镜电源箱、车长操纵台和炮解算器等部分组成。

1. 车长周视镜

车长周视镜安装在车长座位前方炮塔顶上，由上、中、下三大部分组成（图 5-3-44）。露在炮塔外部的上部组件为瞄准镜头部，内部有可在 360°范围内转动的上反射镜；中部组件将车长周视镜支撑在炮塔上，通过电动机驱动上部组件转动；下部组件集观察、瞄准、测距等部件于一体，除上反射镜外的其他光学系统均装在下部。

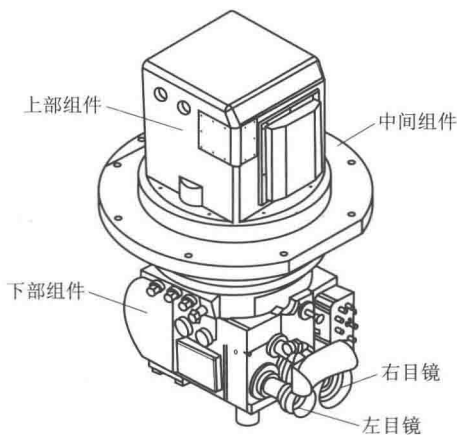


图 5-3-44 车长周视镜

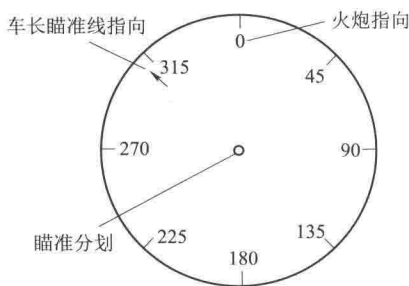


图 5-3-45 右目镜信息图

可见光通道和微光通道观察瞄准共用右目镜，其视场内有瞄准目标的分划和指示车长瞄准线相对火炮位置的分划。瞄准分划位于视场中心，圆圈直径为 1 mil (图 5-3-45)，中间小黑点为瞄准点。“0”为火炮指向，箭头表示车长瞄准线方向。车长进行周视观察时，箭头沿视场边缘移动，用于指示车长观瞄方向相对火炮的位置。

左目镜用来显示目标距离、系统运行状态和弹种等。

2. 车长控制盒

车长控制盒是车长周视镜系统的控制部件，它将车长镜瞄准线的方位、俯仰角度、激光测距距离和目标角速度等信号传输给火控计算机和炮控系统，实现超越调炮、超越射击等功能。当系统进入车长超越射击工况时，车长控制盒切断炮长系统对激光数据传输电路、弹种选择、装弹和射击等电路的控制，接通车长系统对上述电路的控制。

3. 车长操纵台

车长操纵台与炮长操纵台相似，用于控制车长周视镜进行跟踪瞄准、实现超越调和超越射击。操纵台面板上有炮长/车长射击转换开关，手柄上有枪炮击发按钮、激光测距按钮和超越调炮按钮。

(二) 工作原理

1. 光路原理

车长周视镜的光学系统包括昼视低倍、高倍观瞄通道，夜视观瞄通道，激光发射接收通道和分划投影通道 (图 5-3-46)。

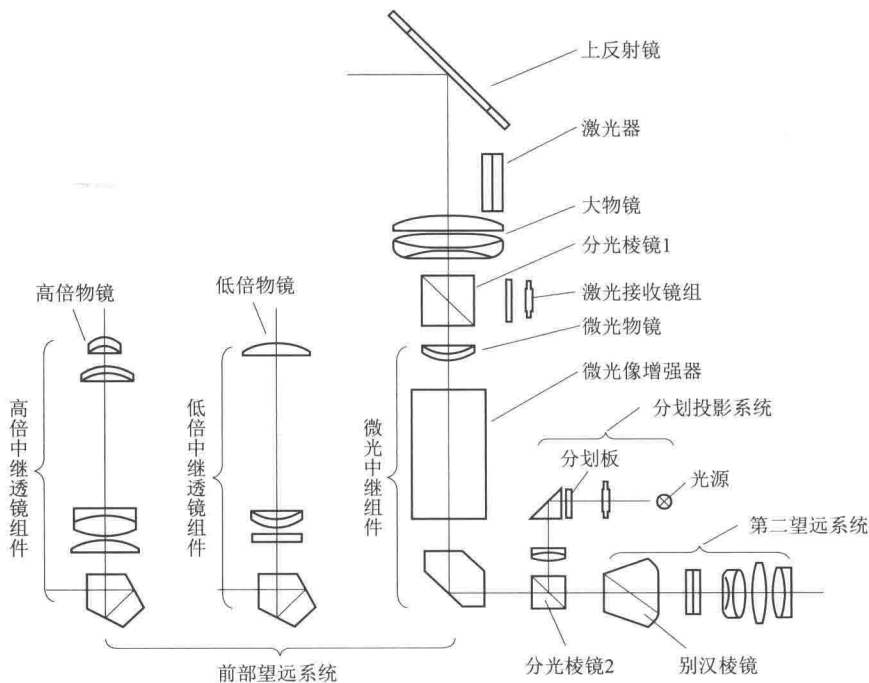


图 5-3-46 车长周视镜光学系统

各通道前部共用上反射镜和大物镜,后部共用第二望远系统,在第二望远系统前加有分划投影系统。高倍、低倍、微光中继组件放置在中继转换镜组中,在不同工况分别转入系统中构成相应的光学通道。

(1) 昼视高倍、低倍光学系统

1) 低倍通道

光学系统工作于低倍通道时,视场较大,主要用于观察、搜索目标。由无穷远射入的目标光线,经上反射镜的反射,经大物镜和低倍物镜会聚到 F_2 焦面上,再经低倍中继透镜组折转 90° 后平行出射,构成 0.85 倍前部望远系统,并与后部 3.5 倍第二望远系统构成了 3 倍低倍通道。

2) 高倍通道

高倍通道光路原理与低倍通道的相同。由无穷远射入的目标光线,经过上反射镜、大物镜、分光棱镜和高倍物镜后,会聚在焦面 F_1 上;再经高倍中继透镜组和五角棱镜转折 90° 平行出射,构成 3 倍前部望远系统,并与后部 3.5 倍第二望远系统一起构成 10.5 倍高倍观瞄系统。

(2) 夜视观瞄通道

旋转中继转换镜组,并在光路中接入微光中继组件,系统就转换到夜视观瞄通道。此时,来自无穷远的目标光线经上反射镜、大物镜、微光物镜会聚在微光像增强器的光电阴极面 F_3 上,经图像转换和电子增强后,得到一个人眼可视图象;再经直角屋脊棱镜折转 90° 后平行出射,通过第二望远系统构成 8.5 倍微光夜视通道。

在第二望远系统中,别汉棱镜用于补偿由于车长镜头部(连同上反射镜)旋转引起的图像旋转,保证从目镜观察到的图像始终是正立的。别汉棱镜的补偿作用在昼视高倍、低倍和微光夜视通道是相同的。

人眼位于目镜后方就可清晰地观察到远方目标的像。

(3) 分划投影系统

在两个望远系统中间插入分划投影系统,昼视高倍、低倍和微光夜视三个通道即可共用一个分划系统。光源发出的光通过聚光镜将分划照明,分划发出的光线经直角棱镜、投影物镜、分光棱镜 2 投射到主光路中。这样,目标和分划光线均平行射入第二望远系统,实现三个通道共用一个分划投影系统。

(4) 激光测距发射、接收系统

在周视镜前部光路中设置有激光发射和接收系统。

1) 激光发射系统

独立的激光发射系统固定在大物镜壁上,由激光器件和准直发射天线构成,可直接通过上反射镜发射出激光。

2) 激光接收系统

激光接收系统由上反射镜、大物镜、分光棱镜 1 和激光接收镜组构成。目标反射的激光进入周视镜后,经上反射镜、大物镜、分光棱镜 1、激光接收镜组聚焦在雪崩二极管光敏面上,被转换成电信号后传输给放大整形电路,再经逻辑电路处理就得到目标距离。

(5) 转像原理

车长周视镜为潜望式望远系统,可通过头部(上反射镜)的旋转观察 360° 视景。

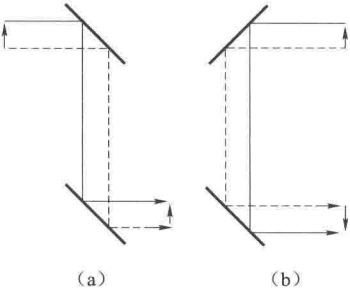


图 5-3-47 图像旋转示意图
(a) 原始状态; (b) 头部旋转 180°

假设图 5-3-47 (a) 为原始状态, 目标在观察者眼中成正立的像。头部绕垂直轴旋转 180° 后 (图 5-3-47 (b)), 目标在观察者眼中则成为倒立的像。实际上, 头部旋转过程中, 像由正立逐渐转为倒立。系统中别汉棱镜的作用即是补偿车长镜头部旋转引起的像旋转。下面以道威棱镜来介绍像旋转补偿原理。

假设图 5-3-48 (a) 为原始状态, 目标在观察者眼中成正立的像。头部绕垂直轴旋转 β 角, 系统通过传动机构使道威棱镜按相同方向随之旋转 $\beta/2$ 。当头部旋转 180° 时, 道威棱镜则旋转 90°, 从图 5-3-48 (b) 可以看出, 物体保持为正立的像。当头部旋转 360° 时, 道威棱镜旋转 180°, 如图 5-3-48 (c) 所示, 物体仍成正立的像。实际上, 在上述反射镜旋转的过程中, 由于道威棱镜的转像作用, 物体所成的像总是正立的。

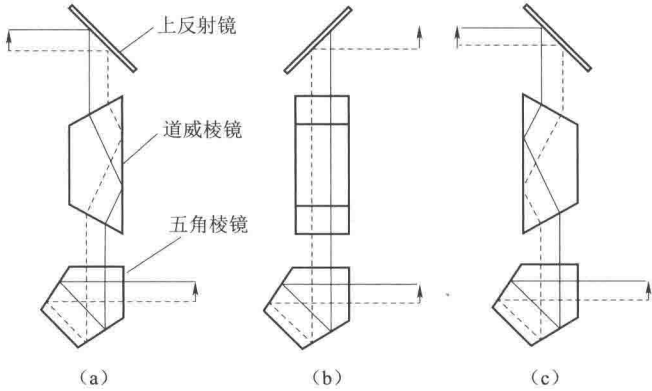


图 5-3-48 道威棱镜补偿图像旋转示意图
(a) 原始状态; (b) 头部旋转 180°; (c) 头部旋转 360°

2. 车长周视镜稳像原理

(1) 瞄准线稳定工况

瞄准线稳定系统以惯性空间为参考系, 以双自由度陀螺为测量元件。陀螺、上反射镜通过轴承安装在框架上 (图 5-3-49)。

陀螺仪测量出车体或炮塔姿态变化引起上瞄准线在高低向角度和方位的变化后, 发出与失调角成比例的信号, 经过高低、方向各自通道的校正放大电路和力矩电动机, 驱动陀螺框架向着与扰动相反的方向转动, 使瞄准线对惯性空间保持稳定。

(2) 跟踪瞄准目标工况

车长对目标进行跟踪瞄准时, 通过操纵台发出方位、俯仰控制信号, 控制信号经过放大器放大后, 分别加到陀螺仪的高低和方位力矩器上, 使陀螺产生相应的进动; 陀螺传感器将相应的输出信号校正放大后输送给相应的力矩电动机, 驱动反射镜产生高低和方位向转动; 同时, 瞄准镜上壳体电动机驱动头部做同步转动, 达到对目标的跟踪瞄准。

(3) 超越调炮工况

车长搜索目标时, 相对于炮塔和火炮, 观察方向独立变化。车长镜瞄准线和火炮轴线在

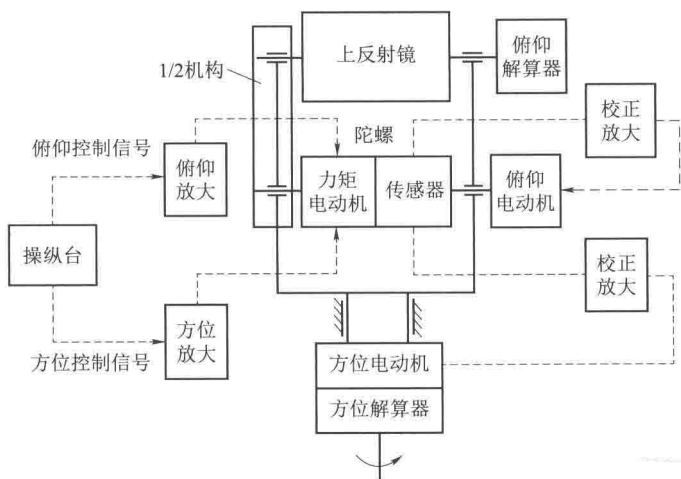


图 5-3-49 车长周视镜工作原理图

方位和俯仰方向产生的角度偏差，被车长周视镜内的方位和俯仰解算器所反映，并转变为电信号。当车长发现目标并要指示给炮长时，按下目标指示按钮。此时，方位和俯仰解算器的电信号经计算机传送到火炮水平和垂直稳定系统，使火炮和炮塔转动，减小偏差直到火炮轴线与车长瞄准线的方向一致；炮长从瞄准镜中看到车长指示的目标，火炮和炮塔停止转动，从而完成车长指示目标功能。

（4）超越射击工况

车长超越炮长射击时，接通超越射击开关，使火炮随动于车长瞄准线。当车长进行瞄准时，系统将驱动上反射镜做俯仰和方位转动；同时，车长镜内水平和垂直解算器连续发出的火炮轴线与车长瞄准线之间的误差信号，经火控计算机传送到火炮水平和垂直稳定系统，使火炮轴线转动，减小偏差。当车长瞄准目标停止转动操纵台时，火炮最终将准确指向目标。

第四节 炮控分系统

炮控系统是坦克火力控制主线末端的执行系统，承担着驱动和稳定坦克火炮/炮塔的作用，是充分发挥火控系统性能，实现“先敌开火、首发命中”的重要保证。

早期，对坦克炮的控制，特别是精确瞄准，主要依靠手摇高低机和方向机来进行，采用这种方式的瞄准速度低、精度差。由于缺乏坦克炮和炮塔的稳定装置，无法进行行进间的瞄准和射击，因此一般采用短停射击方式。短停射击方式动作迟缓，非但不能先发制人，反而使自己处于被动挨打的地位。为克服坦克车体振动对坦克炮行进间瞄准和射击的影响，20世纪40年代开始出现坦克炮的单向稳定装置；50年代出现双向稳定装置；70年代，世界各国的主战坦克几乎都装有双向稳定装置。坦克炮稳定器是一个对坦克炮进行完善的自动控制系统，用来驱动坦克炮瞄准目标并保持坦克炮的稳定，被称为坦克炮控系统。

20世纪90年代以来，各种高新技术不断应用于炮控系统，使其结构模式与控制方式发生了根本性的变化，最终发展为数字全电式坦克炮控系统。全电式炮控系统是指水平向和高低向分系统都采用电动机通过动力传动装置驱动炮塔和火炮的系统结构模式，特点是结构简

单、性能优良、效率高，且无“二次效应”危害，因此成为世界各国努力发展的方向。目前，法国的“勒克莱尔”坦克、英国的“挑战者”系列坦克、德国的“豹Ⅱ”A5/A6 坦克、以色列的“梅卡瓦 4”坦克等均已安装了全电式炮控系统。

坦克炮控系统的作用是驱动坦克炮进行瞄准和瞄准目标后保持坦克炮的稳定。坦克炮的瞄准过程如下：当发现目标后，以最快的速度把坦克炮掉转过来，接近目标时以最慢的速度进行精确瞄准。坦克炮控系统工作在瞄准状态时是速度控制系统。

坦克炮的稳定过程如下：坦克炮在行进间射击时，由于车体振动和转向影响，使坦克炮偏离瞄准目标的射角，炮控系统内的陀螺仪立即发出一个与偏离角度成正比的信号，经过放大后控制执行机构使坦克趋向并恢复原来的射角。炮控系统工作在稳定状态时控制的是角度位置，这时它是位置控制系统。

炮控系统在俯仰方向上驱动和稳定的对象是火炮，在水平方向上驱动和稳定的对象是炮塔。

一、系统构造与部件工作原理

国产某型号主战坦克火控系统炮控分系统采用的是复合控制方式，包括垂直方向、方位方向两部分装置：在稳像工况下，火炮自动跟踪瞄准线并赋予火炮提前量，按照火控系统计算机给出的射击诸元，自动地赋予火炮射角；在装表工况下，炮控分系统使火炮和并列机枪在所赋予的垂直和水平空间角度上，平稳地调整瞄准速度。炮控分系统具有车长超越控制和系统各种安全保护功能。

系统由操纵台、炮控箱、电动机扩大机控制盒、陀螺仪组、线加速度传感器、车体陀螺仪、调炮器、炮塔驱动装置、垂直向稳定电液伺服系统、启动配电箱、角度限制器等组成。

（一）操纵台

操纵台是供炮长用来完成操纵火炮瞄准、机枪及火炮击发、激光测距和自动装弹工作的装置，是电气和机械的合成机构，主要由外体、底座、操纵把体、函数电位计、实芯电位器、发光二极管、按钮、开关等组成，外形结构如图 5-4-1 所示。

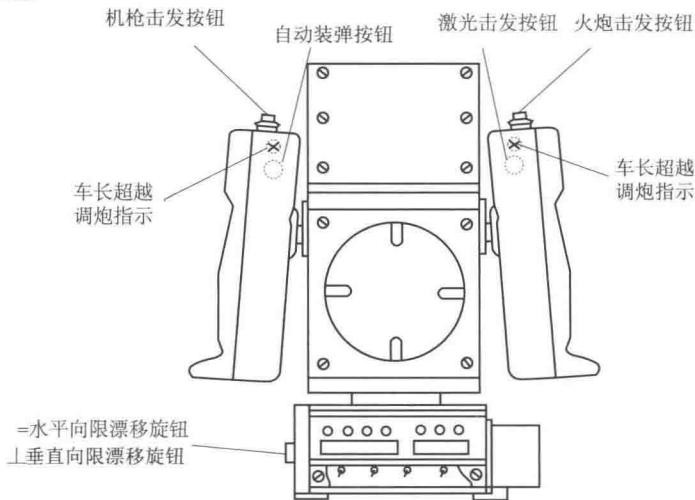


图 5-4-1 操纵台

操纵台把体可以绕水平轴做俯仰转动,转动角度最大为 $\pm 30^\circ$,它是用来实现火炮在垂直方向上的瞄准运动;操纵台外体可以绕垂直轴进行左右转动,转动角度最大为 $\pm 30^\circ$,它是用来实现火炮在水平方向的瞄准运动。

当操纵台处于任一瞄准位置时,松开操纵台把体后,外体或把体在弹簧力的作用下将自动返回零位。

(二) 炮控箱

炮控箱通过电缆与其他部件相连,以完成对炮控分系统的启动、调整、控制和工况的转换等工作,其外形如图 5-4-2 所示。炮控箱是炮控分系统的综合控制部件,由 DY 电源电路板、SX 放大器电路板、SFC 放大器电路板、KD 开关电路板、1~9 号电路板等组成。

(三) 启动配电盒

启动配电盒与火炮控制系统的其他机械、电气部件共同执行整个系统的控制,主要由四个 200 A 的接触器、两个片形启动电阻,以及用于元器件安装的支架和紧固件等组成。四个 200 A 接触器两两并联,两个电阻器串联起来作为电动机扩大机的启动电阻。

电动机扩大机启动时,启动电阻与转子线圈串联,以减小启动时转子线圈的电流。当电动机扩大机达到一定的转速后,接触器工作,电磁铁吸合,与启动电阻并联的开关闭合,使 26 V 电源电压直接加在转子线圈两端,提高电动机扩大机的工作电压。

(四) 陀螺仪组

坦克火炮扰动的测量部件采用陀螺仪传感器。陀螺仪传感器由速率陀螺和放大器板组成,在火控系统中,被用来产生高低和水平方向稳定和瞄准信号。

陀螺仪组的构造如图 5-4-3 所示,分为上壳体、下壳体两部分。上壳体内安装了两个型号为 BQ201 的全液浮速率陀螺,分别作为水平方向和高低方向的角速度传感器。在它们中间有一块电路板,上面固定着陀螺仪马达电动机启动电容器和激磁绕组测温电阻。上壳体通过矩形插座与下壳体进行电气连接,并通过固定的壳体外部的电缆插座与炮控分系统控制箱连接;下壳体内安装一块高低方向放大积分板和一块水平方向放大积分板。

陀螺仪组的工作原理如图 5-4-4 所示。

陀螺马达通电后高速旋转,陀螺框架被密封在浮筒中,浮筒和壳体间充满了浮油,只有在某一个温度时浮筒才悬浮起来。浮油的温度由温控电路控制,加热绕组使浮油保持合适的温度,此时温控电路允许炮控分系统进入自动状态。

当火炮受外界扰动时,陀螺仪绕输入轴转动,引起输出轴的进动(关于陀螺仪的定轴性和进动性,请参考上一节内容),信号传感器测出输出轴的转动,转动信号经放大后驱动

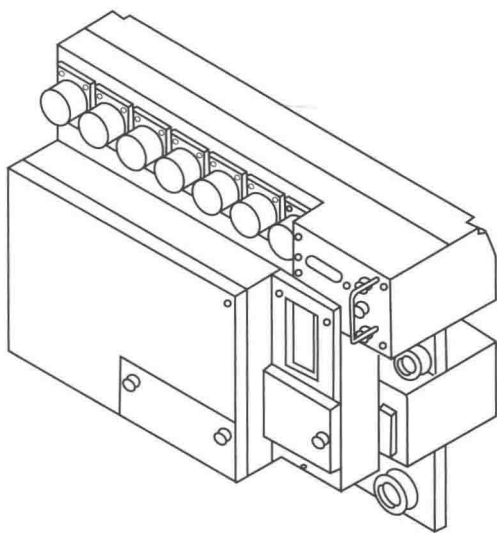


图 5-4-2 炮控箱

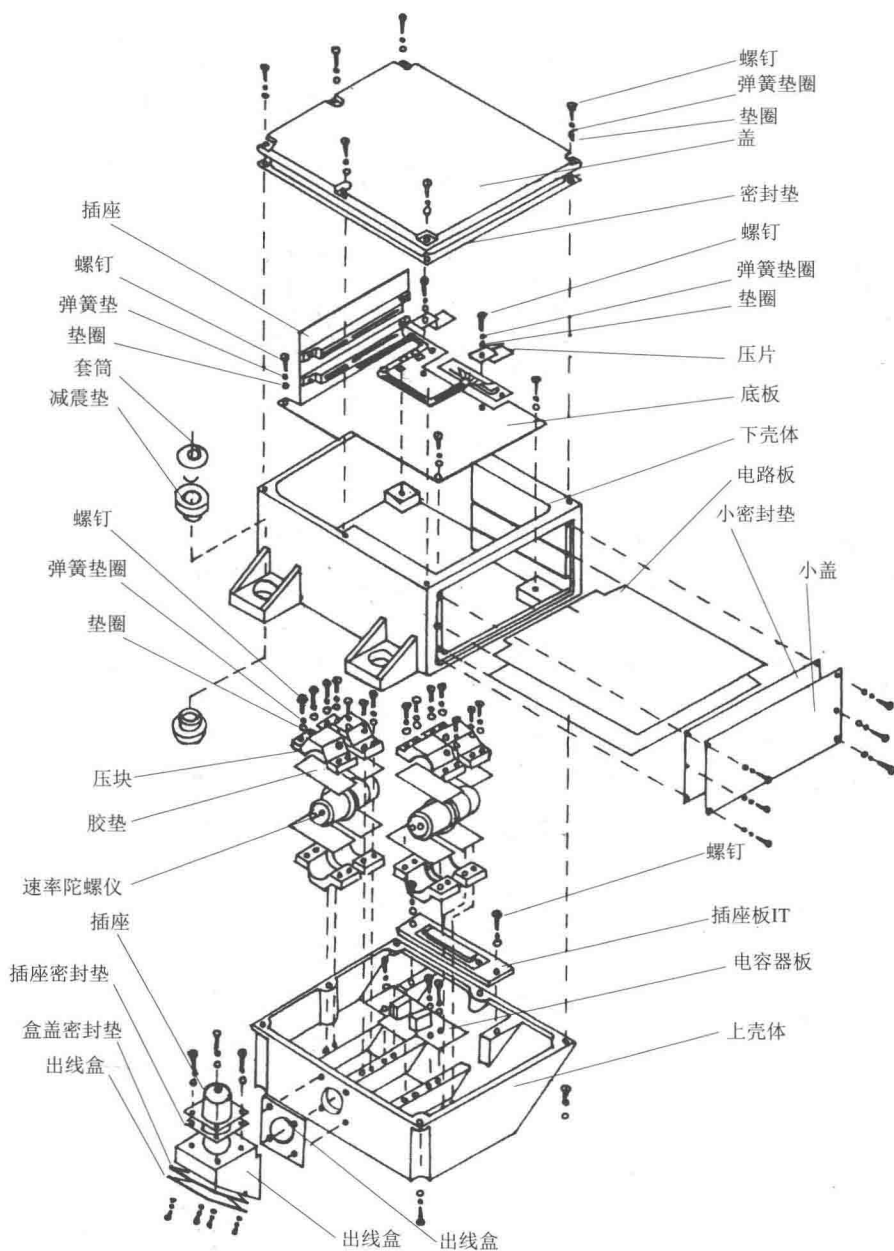


图 5-4-3 陀螺仪组的构造图

力矩马达，使陀螺仪回位。取力矩马达的电流为火炮扰动速度的采样，采样信号经放大处理后与操纵台发出的瞄准指令一并送给瞄准电路，瞄准电路输出的信号与速度信号相加，再经过积分电路获得角度信号输出。此过程的电路原理图如图 5-4-5 所示。

(五) 电动机扩大机控制盒

该型号坦克炮控系统采用电动机扩大机控制方案，扩大机中的拖动电动机采用永磁式。炮塔电动机的调速方法是电压调速，即通过改变电动机上电枢两端的电压来调节电动机转

板、半自动板、支架等组成。

(六) 线加速度传感器

线加速度传感器用于测量炮塔横向运动时的加速度，并将信号送入水平稳定器，以提高坦克火炮水平向的稳定精度。线加速度传感器结构轴测分解图如图 5-4-7 所示，主要由带弹性扭片的摆轴组件、微动同步器（磁环、导磁环）、外壳、壳体、端盖和固定座等组成。

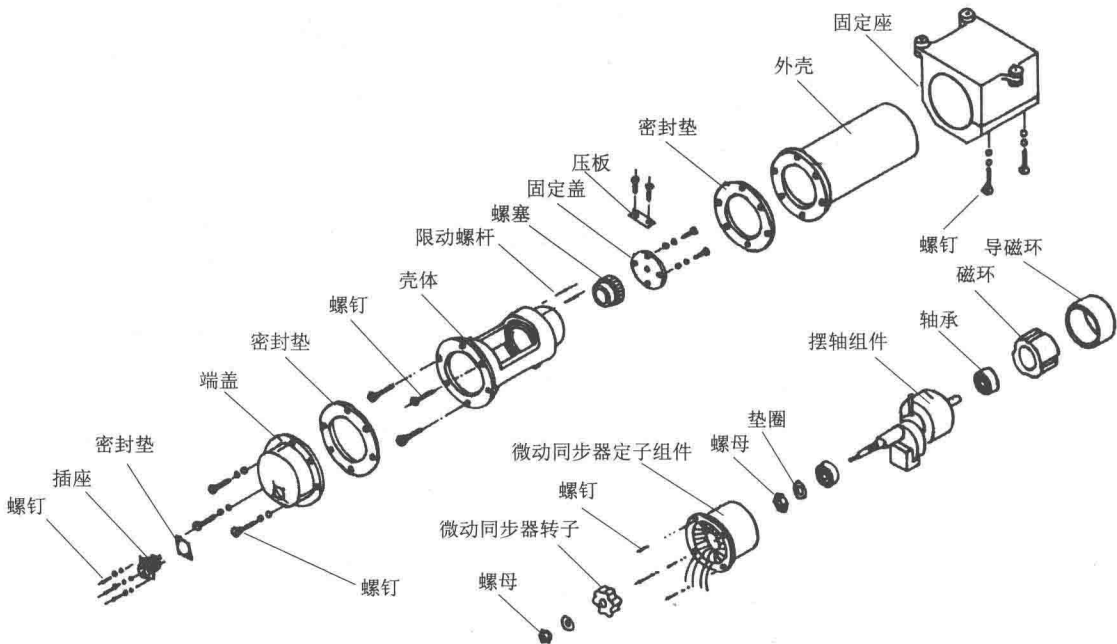


图 5-4-7 线加速度传感器分解图

该线加速度传感器是一个转矩平衡装置，采用机械摆式机构，其工作原理如图 5-4-8 所示。

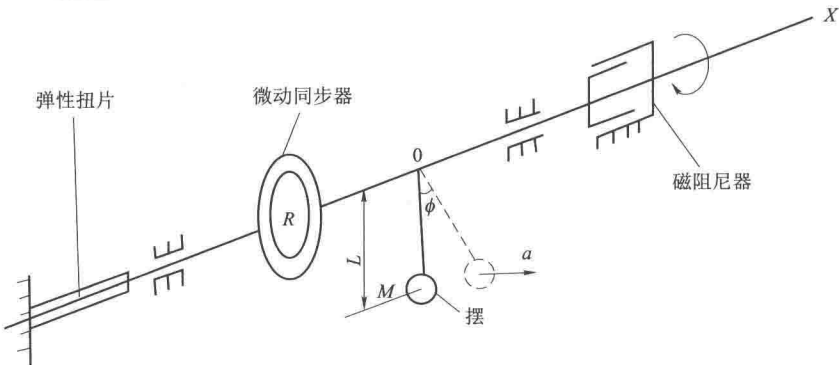


图 5-4-8 线加速度传感器工作原理图

带弹性扭片的摆轴组件是一质量为 M 的偏心摆，其摆轴的距离为 L ，可绕水平轴 X 转动。弹性系数为 k 的弹性扭片一端与摆轴固定，另一端固定在壳体上。当没有加速度作用

时，摆轴的摆心（重心）处在地垂线上，微动同步器输出为零；当在水平面受到垂直 X 轴的加速度 a 作用时，摆轴发生扭转，产生扭转角 ϕ ，弹性扭片产生与惯性力矩相平衡的弹性平衡力矩，这样转角的大小便与加速度成正比，通过微动同步器转换为交流信号输出，输出交流信号的大小和相位便可以反映加速度的大小和方向，简化后的力平衡方程为：

$$LMa = k\phi, \quad \phi = LMa/k$$

（七）车体陀螺仪

车体陀螺仪是用来测量坦克车体在炮塔旋转平面内振动角速度的大小和方向，并将其转变成方向稳定的前馈信号，从而提高方向稳定器的稳定精度，如图 5-4-9 所示。

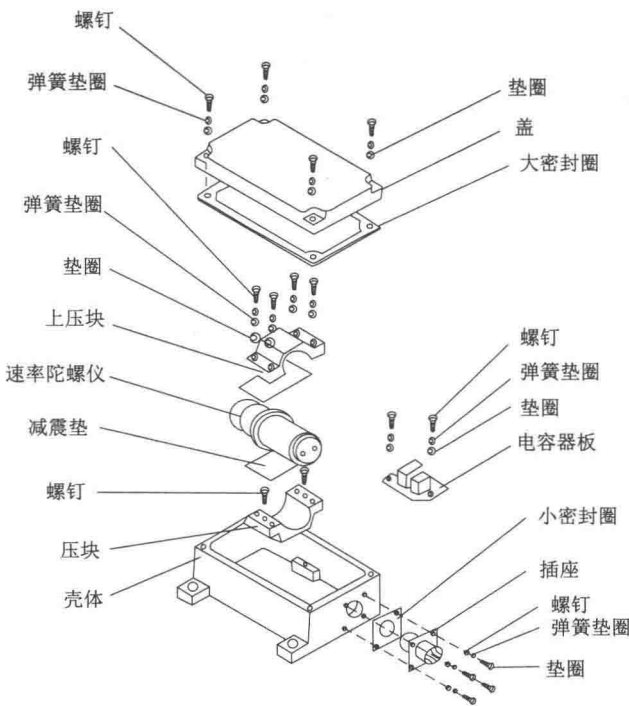


图 5-4-9 车体陀螺仪构造

车体陀螺仪分为主体和上盖两部分，主体内安装一个型号为 TS-7C 的半液浮速率陀螺作为水平方向角振动的传感器，其一侧安装了一个电容器板，主体通过固定在壳体外部的电缆插座与炮控箱连接。

（八）炮塔方向机

炮塔方向机用来转动炮塔，赋予火炮和并列机枪水平射向。

方向机有电驱动和手驱动两种功能，在使用双向稳定器或电传动时，方向机由电动机驱动，能够以各种速度调转炮塔，实现搜索目标和精确瞄准或稳定炮塔。方向机的手动驱动的手柄端部装有并列机枪击发按钮，用以击发并列机枪。

1. 构造

炮塔方向机由炮塔电动机、电磁离合器、测速电动机、保险离合器、行星排、手轮及蜗轮蜗杆机构、消除空回机构和方位指示器、固定器手柄、箱体等部件组成（图 5-4-10）。

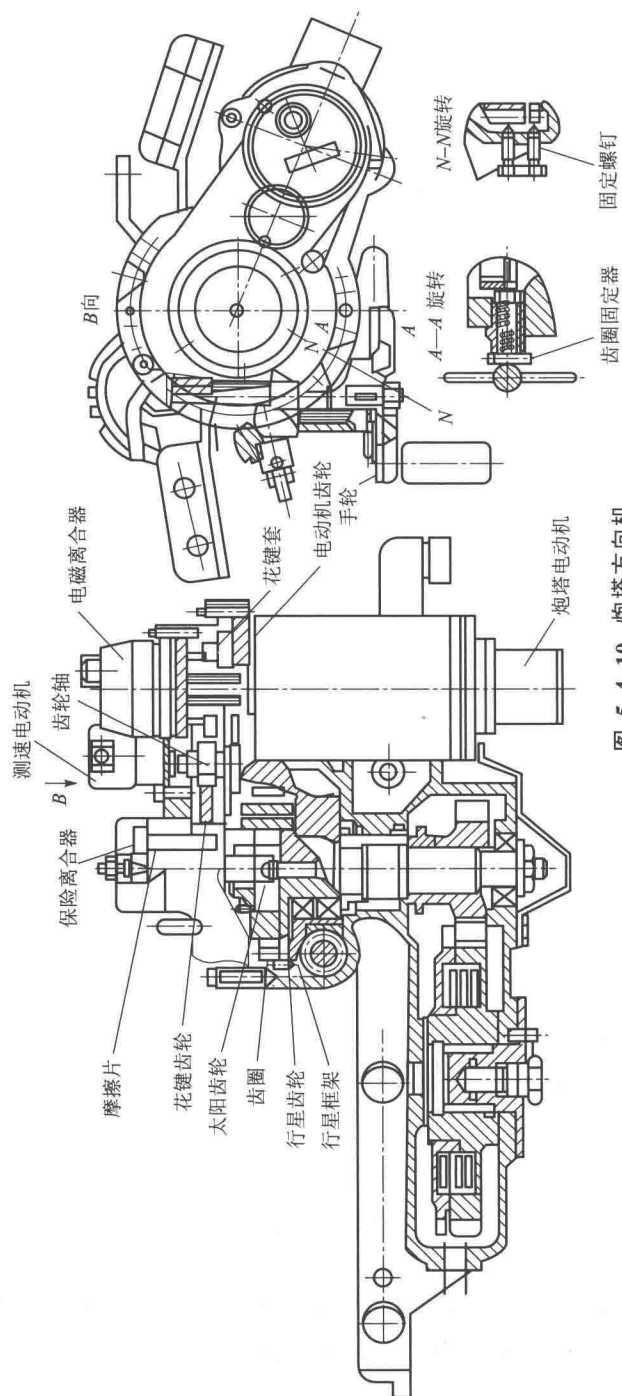


图 5-4-10 炮塔方向机

(1) 炮塔电动机

永磁式炮塔电动机用来提供电驱动炮塔回转的动力。

(2) 电磁离合器

炮塔电动机齿轮上部的花键通过五片内齿摩擦片和六片外齿摩擦片与花键套连接，再与电磁制动器组成电磁离合器。电磁离合器装在上箱体上部，依靠调整垫调整力矩。

电磁离合器借助行星传动机构，实现炮塔方向机手驱动和电驱动的转换。当突然断电时，电磁离合器会自锁。

(3) 测速电动机

方向机第一级被动齿轮上引出的测速电动机装置，其转速与炮塔电动机同步，能够检测炮塔电动机的转速变化，并将信号反馈到系统中去，用来提高稳定器低速性能。

(4) 保险离合器

在太阳齿轮轴上装有保险离合器，目的是防止转动炮塔时阻力过大（例如炮管碰到障碍物），而引起炮塔电动机烧毁或使方向机机体损坏。

方向机在正常情况下能可靠地传递力矩，而负荷超过保险离合器的打滑力矩时，保险离合器打滑。

(5) 行星排

行星排用来传递炮塔电动机扭矩，以驱动炮塔旋转并与电磁离合器配合，可以实现炮塔方向机手驱动和电驱动的转换。

该行星排由太阳齿轮、齿圈、行星齿轮及行星架部分组成。三个行星齿轮通过行星齿轮轴安装在行星框架上，外部与具有内齿的齿圈啮合，内部与太阳齿轮相啮合。行星齿轮不但可以绕行星轴自转，还可以与行星框架一起绕太阳齿轮公转。

假定 n_t 、 n_q 、 n_j 、 n_x 分别表示太阳齿轮转速、齿圈转速、行星架转速、行星轮转速， Z_t 、 Z_q 、 Z_x 分别表示太阳轮齿数、齿圈齿数、行星轮齿数，以行星架为参照系，以下关系成立。

$$\frac{n_t - n_j}{n_q - n_j} = -\frac{Z_x}{Z_t} \cdot \frac{Z_q}{Z_x} = -\frac{Z_q}{Z_t} = -k$$

负号表示太阳齿轮与齿圈相对于行星架的转动方向相反， k 称为行星排的特性参数，即

$$n_t + kn_q - (1 + k)n_j = 0$$

这是行星排的基本运动学关系式，适用于任何运动状态。

从上面的公式可以看出，从太阳轮、行星架、齿圈三个构件中任选两个作为输入件和输出件，另一个为控制件，则行星排就有确定的传动。

① 从图 5-4-10 中可以看出，电动机连接太阳轮。如齿圈固定，太阳轮输入，行星架输出，根据上式，则有

$$i = \frac{n_t}{n_j} = 1 + k$$

从电动机到行星架是减速传动，传动比为 $1 + k$ 。

② 如果电动机的电磁制动器制动，太阳轮固定，齿圈输入，行星架输出，根据上式，则有

$$i = \frac{n_q}{n_j} = 1 + \frac{1}{k}$$

这时是手动调炮，传动比为 $1 + \frac{1}{k}$ 。

(6) 手轮及蜗轮蜗杆机构

手轮及蜗轮蜗杆机构用于实现方向机的手传动功能。蜗杆与手轮连成一体，随手轮转动，并带动蜗轮、齿圈转动。此时太阳轮固定，行星轮带动行星框架转动，进而带动炮塔转动。

(7) 消除空回机构

消除空回机构由两个齿轮组成，上面的称为拨动齿轮，与行星框架下端的花键连接；下面的称为弹性齿轮，通过矩形扭力弹簧与拨动齿轮相连。在与炮塔齿圈相啮合时，弹性齿轮与拨动齿轮分别与炮塔齿圈的两侧齿面相接触，以消除齿侧间隙，减少方向机不同方向转动时的空回量，从而大大减少方向机的传动间隙对瞄准精度的影响。

(8) 方位指示器

方位指示器用于指示炮塔方位，由与拨动齿轮相连的齿轮来驱动。

(9) 固定器手柄

电驱动与手驱动的转换是通过下箱体上的齿圈固定器来实现的。当固定器手柄转向下方位置时，固定器插入齿圈外圈的槽内锁紧齿圈，实现电驱动；当固定器手柄转向上方时，固定器从齿圈外圈的槽中退出，解脱齿圈，实现手驱动旋转炮塔。

2. 工作原理

当采用电动机驱动炮塔时，应先将固定器手柄转向下方，以固定齿圈。电磁离合器通电后，电磁离合器衔铁向上吸，摩擦片因压力消失而分离，使炮塔电动机和齿轮转动，并通过两对齿轮带动太阳齿轮转动，行星排的行星框架带动拨动齿轮在炮塔齿圈上滚动，从而带动炮塔转动。

当采用手动驱动炮塔时，应将固定器手柄转向上方，以解脱齿圈。切断电磁离合器电源，电磁离合器衔铁在弹簧力作用下压紧摩擦片，并制动炮塔电动机轴，从而制动了行星排的太阳齿轮。当用手柄转动手轮时，动力通过蜗杆、蜗轮、行星排齿圈传给行星框架，带动拨动齿轮在炮塔齿圈上滚动，使炮塔转动。

(九) 垂直向稳定电液伺服系统

该型号坦克垂直向炮控分系统是一个电液伺服系统，用来将陀螺仪组或稳像式瞄准镜陀螺仪输出的电信号放大后进行电液转换和功率放大，形成相应的力矩并作用到火炮上，以拖动火炮做相应俯仰运动，从而完成火炮的瞄准和稳定功能。

1. 构造

垂直向稳定电液伺服系统主要由液压放大器、动力油缸、补油箱和油管组成（图 5-4-11）。

(1) 液压放大器

液压放大器将前置放大器输出的电信号经过电液转换后变为液压信号，再经液压功率放大后送往动力油缸，以推动动力油缸活塞杆，带动火炮俯仰运动。

液压放大器安装在火炮下方的下防危板的后面，主要由斜轴式柱塞泵、电磁式单级控制阀、滤清器、串激式直流电动机及辅助部件组成，如图 5-4-12~图 5-4-15 所示。

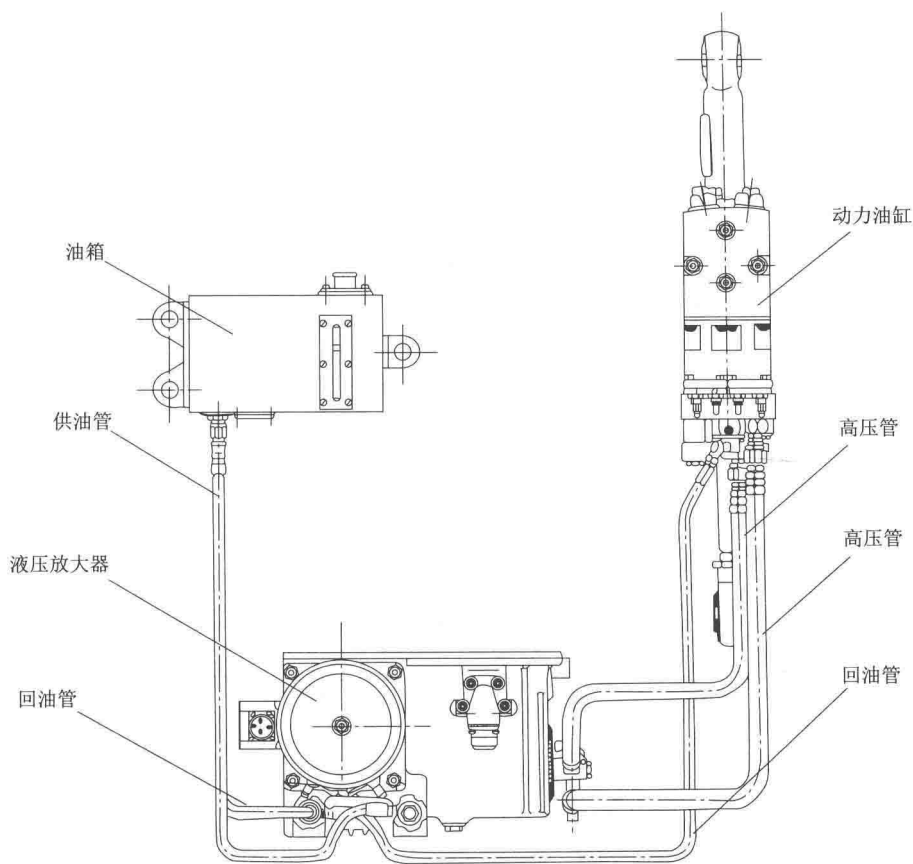


图 5-4-11 电液伺服系统部件连接外形图

柱塞泵为系统提供液压动力，其结构和工作原理请参考后面的液压传动部分。

电磁式单级控制阀（图 5-4-16）由控制电磁铁和滑阀组件两部分组成。在输入的差动电流的控制下，两个独立运动的滑阀分别改变控制节流口的开口量，达到对流量和压力的控制作用。

油泵拖动电动机为串激式直流电动机，它在结构上采用一种特殊制成的弹性轴并将其通过空心轴套在油泵轴上，这种油泵拖动电动机具有传动无间隙、平稳、效率高、噪声低的特点。同时，还具有输出功率增加时转速迅速下降而转矩迅速增大的特性，这可以使系统保持较高的工作压力。

（2）动力油缸

动力油缸用来在稳定工作状态下产生稳定力矩，使火炮处于稳定位置；在瞄准工作状态下，赋予火炮射角。

动力油缸（图 5-4-17）由带护盖的缸体（图 5-4-18）、活门箱和闭锁电磁铁组成。

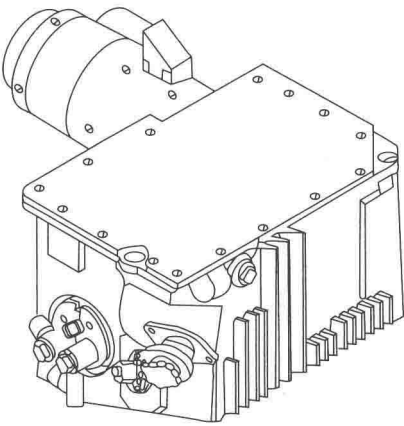


图 5-4-12 液压放大器结构外形图

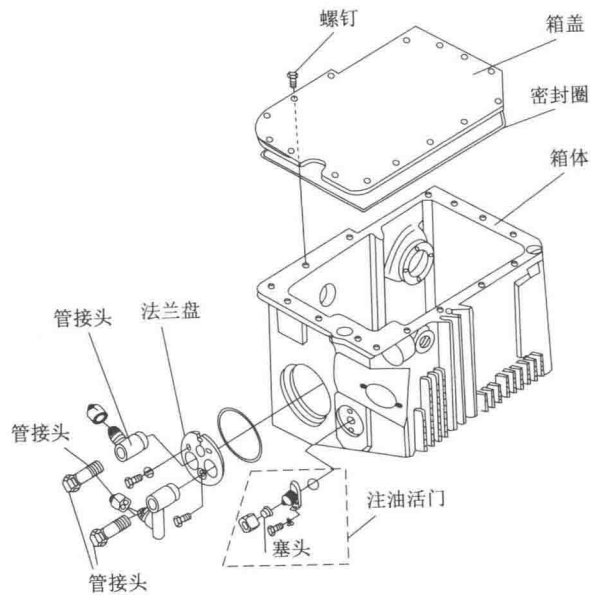


图 5-4-13 液压放大器分解图一

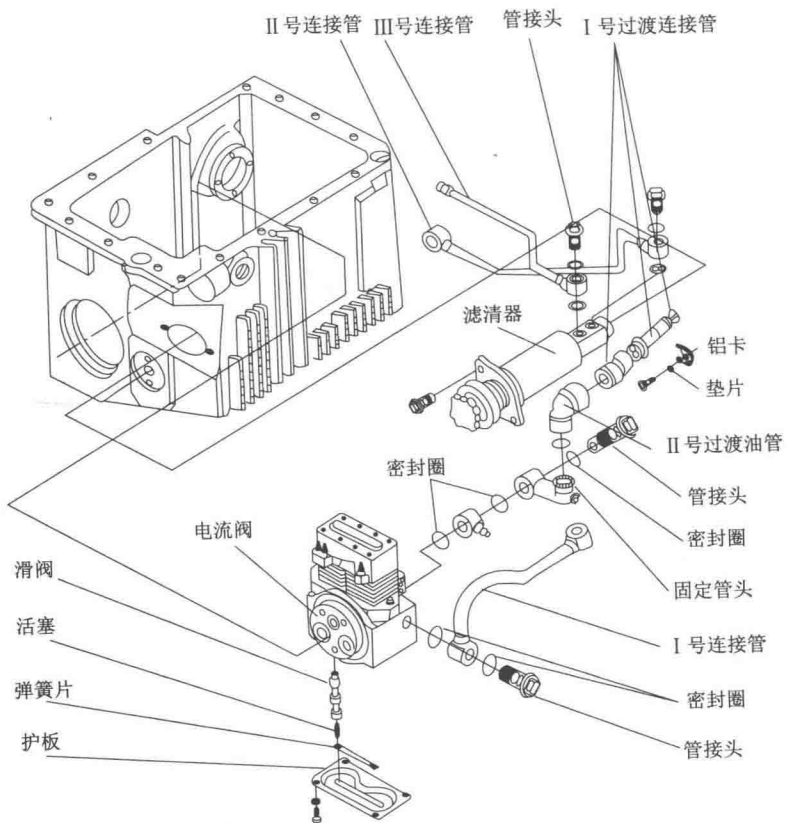


图 5-4-14 液压放大器分解图二

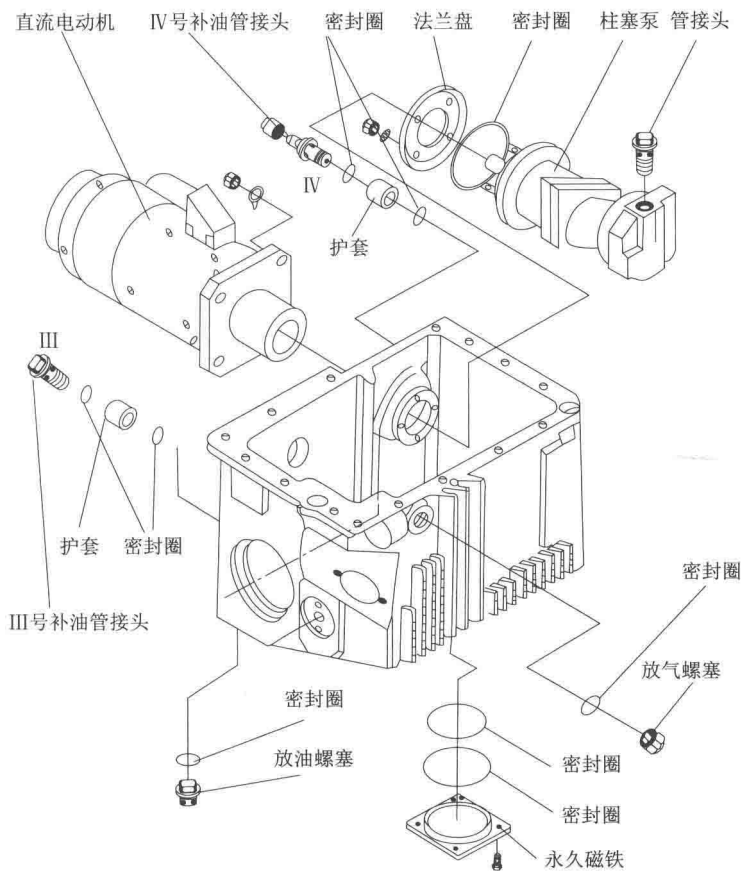


图 5-4-15 液压放大器分解图三

(3) 补油箱

补油箱用来储存、冷却和过滤油液，补充系统漏损而损失的油液，容纳因油温度升高而膨胀的油液，排除油液中的空气及通过永久磁铁吸住油液中的铁质。补油箱主要由油箱本体、空气滤清器、护盖（镶有永久磁铁）、油标、管接头等构成。

2. 工作原理

液压系统工作分五种工作状态，工作原理如图 5-4-16~图 5-4-19 所示。

(1) 无控制信号时

当液压放大器未启动且无输入信号时，滑阀 F_1 、 F'_1 分别在自重和压杆（6、6'）的重力作用下处于最低位置，此时滑阀的开口 X_2 、 X'_2 关闭（见图 5-4-19）。当电动机启动后，油泵工作，工作油液进入滑阀 F_1 、 F'_1 的供油油腔，然后通过 X_1 、 X'_1 进入工作管道，同时进入反馈滑阀（ F_2 、 F'_2 ）的工作腔，此时 P_3 、 P'_3 升高，滑阀 F_1 、 F'_1 即上升，直至压杆顶上电磁铁杠杆并使杠杆处于平衡状态，此时 $X_1 = X_2 = X'_1 = X'_2$ 。在这种情况下，油泵排出的油分别通过 X_1 、 X'_1 、 X_2 、 X'_2 到叶轮马达 M_1 、 M'_1 。叶轮 M_1 、 M'_1 通过一对喷嘴把控制阀的回油喷射在叶轮上，叶轮的旋转（相当于射流马达）带动控制滑阀一起转动。控制滑阀旋转的目的是使控制滑阀静摩擦变成动摩擦，从而提高控制阀的灵敏度；此外，高速旋转的滑阀有自动定心作用，使压杆轴线保持与滑阀轴线重合，并使滑阀周边受力均匀，从而使滑阀保持良好

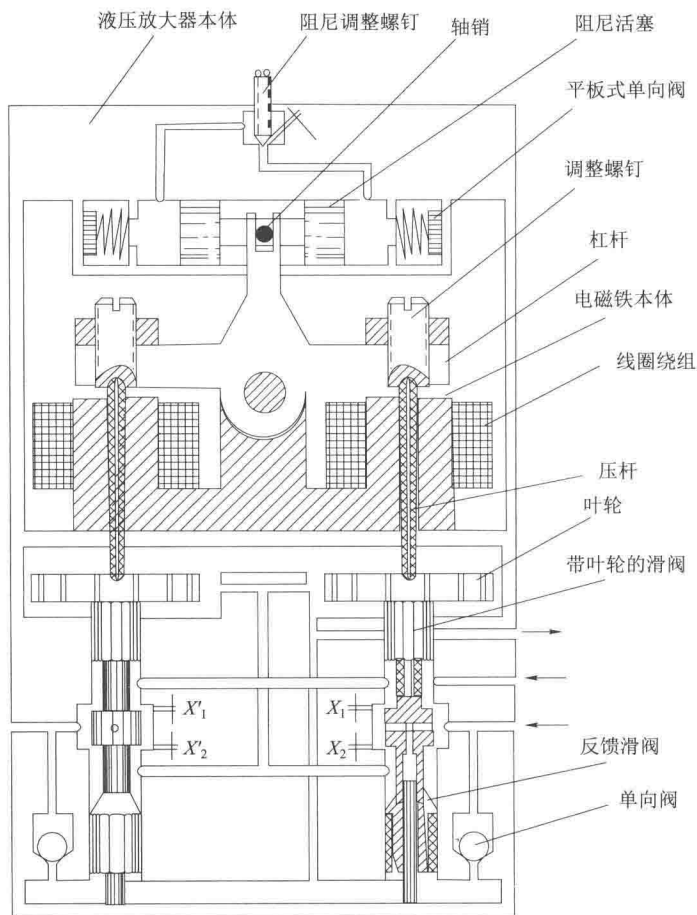


图 5-4-16 电磁式单级控制阀

的工作状态。此时，动力油缸两腔压力相等，活塞相对于缸体静止不动，火炮也静止不动。

(2) 有控制信号时

当有电气信号通过控制电磁铁（序号 3）的绕组（序号 4 或 4'）时，电磁铁杠杆（衔铁）便沿控制信号的方向做相应偏转，偏转量大小与控制电流大小成正比，与负载压力大小成反比。假设杠杆顺时针偏转，则此时杠杆通过压杆（序号 6）把滑阀 F_1 压下，而滑阀 F'_1 在 P'_3 的作用下向上移动，总顶住杠杆，此时 X_1 、 X'_2 增大， X'_1 、 X_2 减小， P_1 增高、 P'_1 减小，动力油缸两腔压力不等，活塞在两腔间压力差的作用下下移，带动炮尾绕炮耳轴向下运动，从而完成火炮向上移动。当此力和电磁铁施加在滑阀 F_1 向上的力平衡时， F_1 即停止移动；当 P_3 作用在 F_1 上的力小于电磁铁的作用力时， F_1 继续向下运动，直至 X_2 关闭。当火炮运动到规定的位置时，消除控制电信号，电磁铁的控制力消失，杠杆和滑阀在 P_3 的作用下，返回零位。当控制信号反向时，动作原理与上述一样，而各部分动作方向相反。

(3) 过渡过程中

当高速调炮到位时，需要火炮停止运动。这时，由于惯性作用，火炮将超过平衡位置，电信号反向，阀上相应的排油节流口已减小或关闭，而供油口已开启，动力油缸排油与泵油相遇，造成油压陡升，此油安全溢流的同时，使火炮获得足够大的制动力矩，从而迅速停到

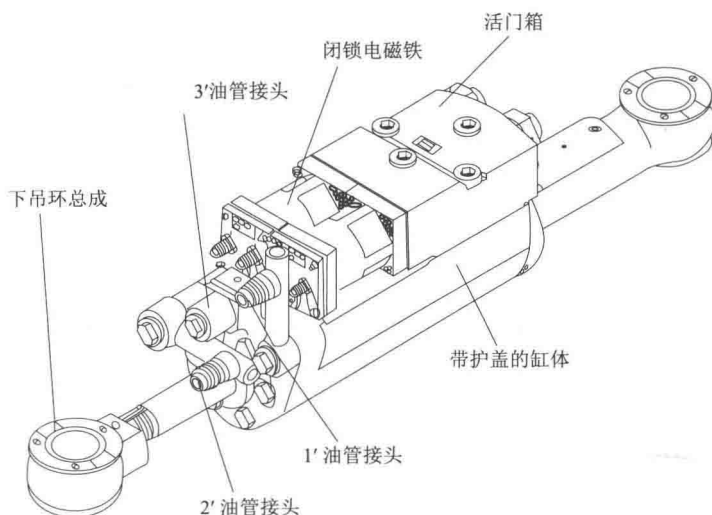


图 5-4-17 动力油缸

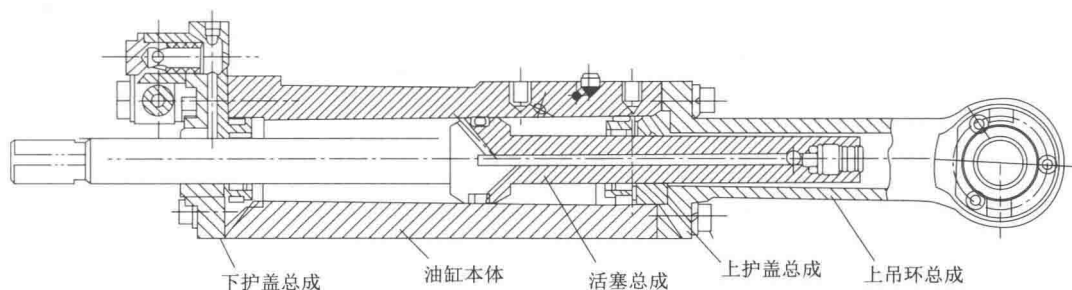


图 5-4-18 带护盖的缸体

指定位置。

(4) 手摇瞄准时

当未启动稳定器时,滑阀 F_1 、 F'_1 分处于最低位置, X_2 、 X'_2 都关闭。此时如果手摇高低机向上调炮,则动力油缸活塞向下移动,下腔容积减小,向外排油,而上腔容积增大并吸油。油将通过管路到动力油缸上腔,形成通路,从而减小了对火炮造成的阻力。如果在向上调炮时,因某种原因使得滑阀 F'_1 处在上方,油从动力油缸下腔→管 13'→ X'_2 → M_1 、 M'_1 →液压放大器壳体油箱→单向阀(序号 10)→管 13→动力油缸上腔,上下腔沟通。向下调炮时,油的流向类同,方向相反。

(5) 闭锁时

当给闭锁电磁铁(序号 17、17')通电时,动力油缸的排油路被完全关断,火炮通过动力油缸与炮塔固连。此时如果坦克炮高速摆动,火炮惯性将使动力油缸上腔或下腔出现很高的压力,当压力超过 50 MPa 时,制动活门(序号 18、18')开启,油液从高压腔通过制动活门流入低压腔,并消耗掉火炮的惯性能量,保护动力油缸的零部件不被损坏和减轻火炮对炮塔的撞击。

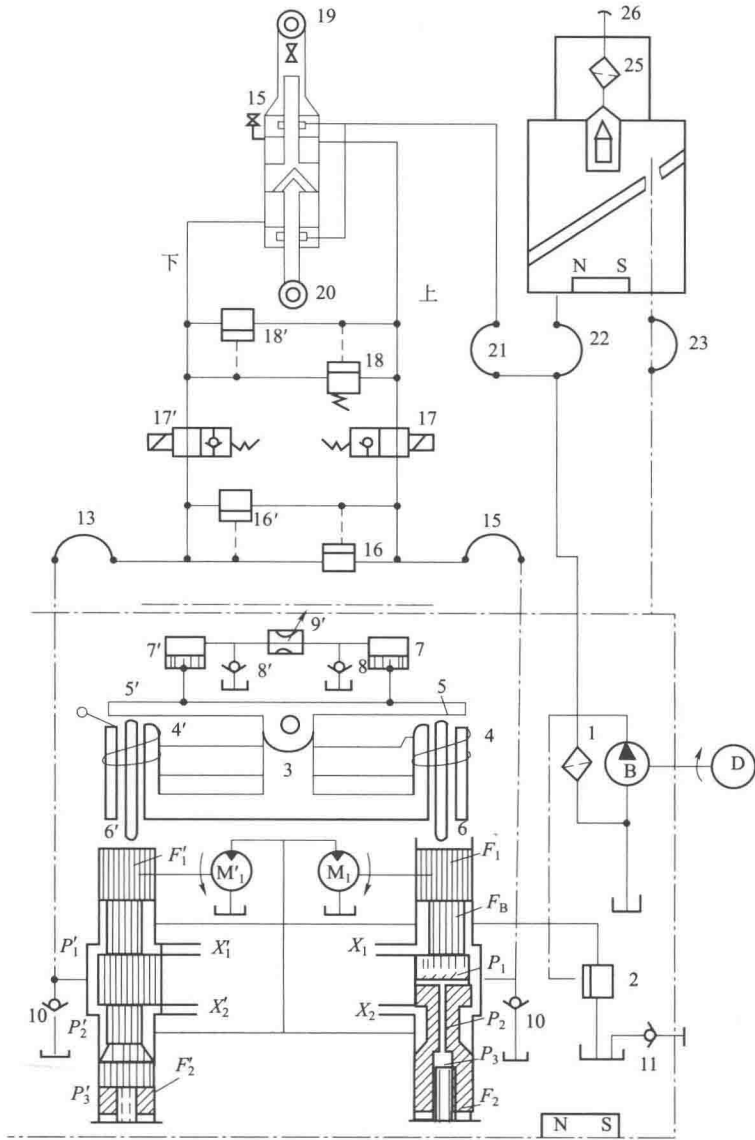


图 5-4-19 电液伺服系统

(十) 调炮器

调炮器通过齿轮传动完成火炮机械角度与电气信号的测量与转换。调炮器测量出火炮相对于自动装弹机装填线的位置，然后炮控分系统根据位置信号进行调炮，当火炮进入装填线后，自动装弹机根据该信号将火炮机械闭锁。

调炮器被固定安装在高低机支架上（图 5-4-20），一个带齿轮的轴上装有一个接触片并与本体接触，一个接触电刷与其接触座相接触。接触座上有三个不同的滑环，均安装在给定的位置上。调炮器产生的电信号由一个插座输出。

当调炮器处于零位时，长、短臂电刷均与接触座上滑环接触，通过轴、接触片、本体、车体形成回路，该位置信号由插座输出；当轴顺时针转动一角度时，长臂仍与接触座的滑环

接触，而其短臂则滑出滑环，长臂电刷与滑环形成第二条回路，由插座输出其位置信号；当轴逆时针转动一定角度时，接触电刷长臂将脱离滑环，而短臂将和滑环接触，这个位置信号也将由其插座输出。系统将根据这些不同的位置信号进行调炮。

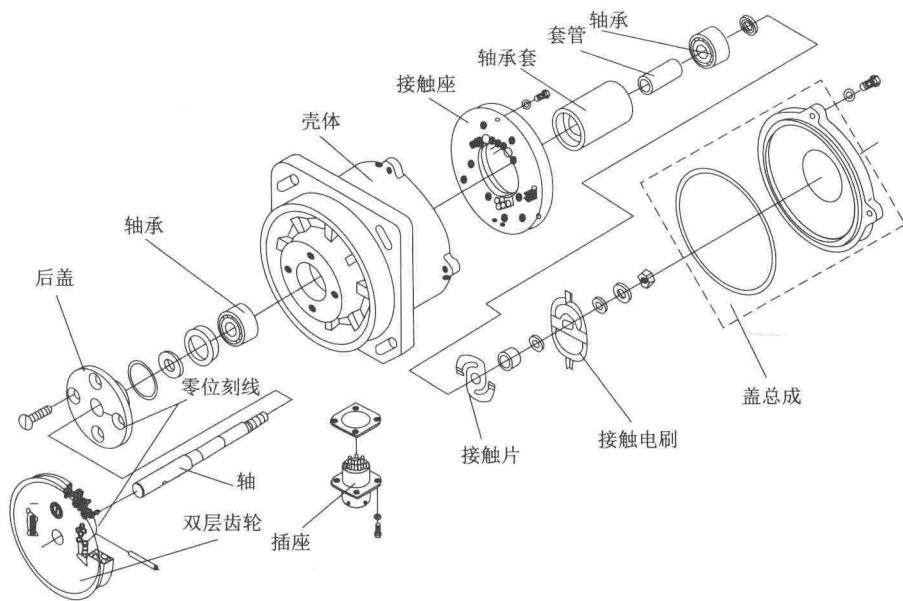


图 5-4-20 调炮器

(十一) 角度限制器

角度限制器用来限制火炮的最大仰角和最大俯角，它利用杠杆机构相互作用，将输入的机械转角转变成相应的开关动作，来切断瞄准电路，同时为接通闭锁电磁铁电路做好准备。

角度限制器固定在高低机支架上，由角度限制器壳体、端盖和带拨块的转轴组成，转轴的末端装有带滑轮的杠杆（图 5-4-21）。在限制器的壳体内装有扭簧、弯板、护板、压板、开关座、4 个微动开关等零件。

当火炮到达最大仰角或俯角时，随同火炮一起运动的高低机齿弧上的上顶铁或下顶铁便与转轴末端杠杆上的滑轮接触，滑轮通过杠杆带动轴和拨块一起转动，拨块压向一端的压板，压板压向相应的一对微动开关的按钮，从而切断瞄准电路，同时接通闭锁电路，并为实现液压闭锁做好准备。

当火炮离开最大仰角或俯角时，拨块在扭簧的作用下返回中间位置，压板也返回原来位置，随后微动开关按钮解脱，瞄准电路接通。

二、系统工作原理

该坦克炮控系统在每个稳定轴上采用一个全液浮速度陀螺仪组，角度信号由速度陀螺仪输出的信号经积分器积分获得，瞄准是靠炮长转动操纵台输出电信号，电信号通过积分器积分出的信号驱动执行部件来实现的。

该坦克炮控系统不仅具有传统的闭环稳定和控制回路，而且具有按扰动的开环补偿回路，它利用火炮的一个速度陀螺仪、车体速度陀螺仪和线加速度计进行水平向系统的闭环和

开环控制；利用火炮的另一个速度陀螺仪进行垂直向系统的闭环控制。
炮控分系统可分为垂直向炮控分系统和水平向炮控分系统。

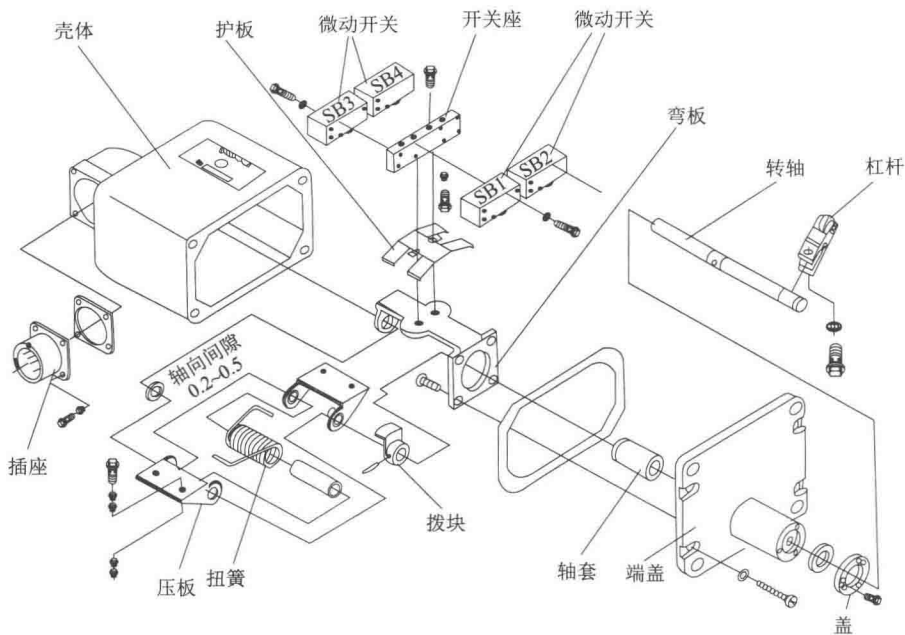


图 5-4-21 角度限制器

(一) 水平向工作原理

水平向炮控分系统是一个全电式复合控制系统，即一个按偏差控制的闭环系统和一个按扰动控制的开环系统的复合。

闭环系统应用的速度陀螺仪的框架轴线与火炮身管轴线相垂直，陀螺转子轴线与火炮耳轴轴线相平行，基座固定在火炮摇架上。水平向炮控分系统工作原理如图 5-4-22 所示。

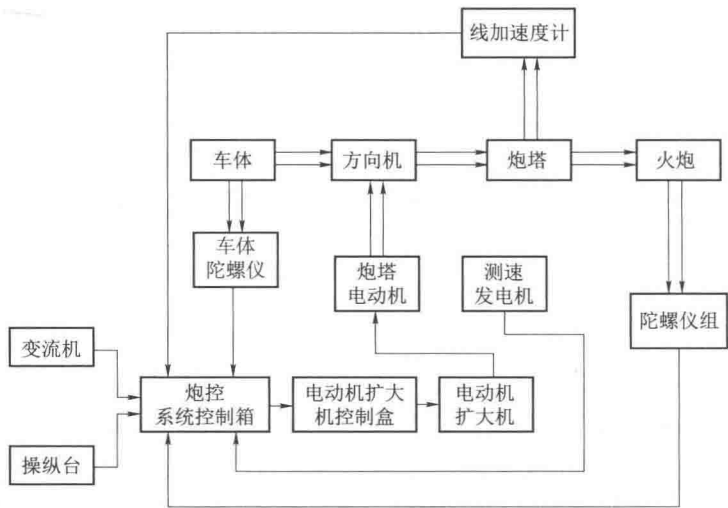


图 5-4-22 水平向系统工作原理

1. 稳定工作状态

火炮在原位时,水平向速度陀螺仪无电压输出,电动机扩大机的主控制绕组无电压输出,火炮的方向角不变。

当坦克行驶时,车体水平向振动或转向使火炮随同炮塔一起偏离原方向角。安装在车体上的速度陀螺仪和安装在炮塔上的线加速度计首先探测到车体振动。车体陀螺仪、线加速度计分别输出一个正比于扰动角速度和扰动角速度加速度的电信号,并将电信号传给炮控箱放大处理,以抑制炮塔偏离。速度陀螺输出的信号经积分、放大和相敏整流后传给扩大机控制盒,然后差动输入极化继电器,控制电动机扩大机的主控绕组的电路通断时间,从而控制电动机扩大机输出给炮塔电动机的电压大小和极性,进而驱动炮塔转动。炮塔转动方向与车体水平向的振动相反。装在火炮上的速度陀螺仪组输出的电信号经过积分后充当角度信号,进一步提供了惯性空间的基准位置,保证了定位精度。当炮塔恢复到稳定位置时,速度陀螺仪便无电压信号输出,这样就保证了火炮的原方向角不变。

2. 瞄准工作状态

水平向瞄准是通过转动操纵台体,把电源电压通过操纵台内方向电位器接通水平向瞄准电路来实现的。电源电压通过调整后加到陀螺仪,经整形、积分、整流、放大后输入炮控箱SC板,此后的工作情况和稳定工作状态一样,使火炮向需要的方向转动。当火炮到达需要的位置时,松开操纵握把,操纵台体在弹簧作用下返回中间位置,此时输出电压为零,炮塔电动机停止转动,火炮也停止在新的位置上。火炮转动方向和转速大小由操纵台体转动方向和转角的大小来控制。

3. 半自动工作状态

半自动是一个极化继电器电动机扩大机-电动机调速系统。当操纵台体向一个方向转动一个角度时,直流电源经电传动电位器加到炮控箱,然后经放大后输入扩大机控制盒的控制线圈上,极化继电器工作并接通电动机扩大机的主控绕组电路,使电动机扩大机输出电压加到炮塔电动机的电枢上,从而使炮塔电动机带动炮塔转动。当炮塔转动到所需要的位置时,松开操纵台,则输出电流为零,电动机扩大机的主控绕组电路不通电,则炮塔电动机停止转动,炮塔停止在新的位置上。

(二) 垂直向工作原理

垂直向炮控分系统是一个电液式伺服系统,能实现对火炮垂直向射击角度的稳定和瞄准。

垂直向炮控分系统的速度陀螺传感器框架轴线与火炮身管轴线相平行,转子轴线与火炮耳轴轴线相垂直,基座与火炮摇架固连。高低速度传感器测量火炮垂直向运动角速度,并将其转换成电信号,信号被分成两部分:一部分经积分处理后在系统中充当角度信号;另一部分在系统中起阻尼作用(图5-4-23)。

1. 稳定工作状态

当火炮处于原始稳定位置时,陀螺仪框架轴线与火炮身管轴线平行,没有电压信号输出。扩大机控制盒输出的两路直流大小相等,液压放大器的控制电磁铁上不产生力矩,输出管道内无压力差,火炮保持原来赋予的位置不动。

当坦克行驶时,车体产生的俯仰振动传给火炮,使火炮偏离原位。速度陀螺仪的转子将绕其定子转动,其力矩器便产生与火炮偏离角速度的大小和方向相对应的交流电压信号,该

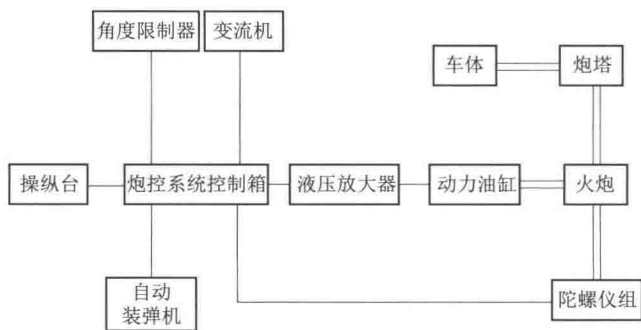


图 5-4-23 垂直向系统原理框图

信号经过放大后，和垂直交叉信号、垂直校漂移信号相叠加，然后分成两路：一路经校正后作为垂直速度信号向炮控箱中的垂直放大板输出，阻止火炮偏离原稳定位置；另一路经积分器积分后，在炮控箱进行放大、相敏整流和差动放大。当控制电磁铁有差动电流时，会产生一个电磁力矩，使电磁铁杠杆偏转；在传力杆的作用下，滑阀向下运动，使工作腔产生压力差，促使动力油缸产生运动，并带动火炮运动，从而完成稳定作用。

当火炮回到原来的稳定位置时，失调角等于零，不再有电压信号输出，动力油缸上下腔的油液压力相等，火炮停在原来的稳定位置上。

2. 瞄准工作状态

瞄准时，炮长转动操纵台握把，把电源电压输入陀螺仪内的瞄准电路中，该电压经整形、积分、整流、放大后输入炮控箱、液压放大器，再经过转换和放大后控制动力油缸上下腔产生压力差，使动力油缸缸体带着火炮运动，直到到达瞄准位置。当松开操纵台握把时，电位器回到零位，切断瞄准电路，无瞄准信号输出，火炮也就停在一个新的位置上，从而实现了高低瞄准。

（三）车长调炮工作原理

1. 垂直向调炮

垂直向调炮时，车长接通目标指示装置的电源开关后，按下握把上的调炮按钮（上端按钮为仰角控制、下端按钮为俯角控制），则装在炮控箱内的调炮继电器开始工作，将炮长控制的垂直向瞄准电路断开，并转换成车长控制，此时垂直向炮控分系统以最大速度调炮；当松开调炮按钮，则调炮继电器断电，调炮停止，瞄准电路又恢复到炮长控制。

2. 方位向调炮

车长首先解脱指挥塔的固定，然后转动指挥塔，接着搜索发现并瞄准目标，同时按下车长左握把上的目标指示按钮，则炮控箱内的目标指示继电器将炮长控制的水平向的瞄准电路（或炮塔电传动调炮电路）切断，并转换成车长控制。此时，炮塔以最大速度向目标方向转动。当火炮轴线对准目标方向时，车长控制电路自动切断，炮塔停止转动，同时恢复炮长控制瞄准电路，从而实现车长给炮长指示目标，即水平向调炮。

第三篇

坦克装甲车辆的推进系统

第六章

推进系统概述

一、推进系统的概念与类型

坦克装甲车辆的推进系统是指安装在车体上的动力装置、传动装置、操纵装置和行动装置构成的整体，它的作用是实现车辆的机动性。推进系统占坦克车内空间的 30%~40%，其性能直接影响坦克的机动性能和战场生存性能，而机动性能又是发挥坦克火力、提高战场保护和生存能力的基础。

坦克装甲车辆陆上行驶需要具有直线行驶快速性、转向灵活性、越野通过性和最大行程。两栖车辆还需要具备水上行驶机动性：水上行驶快速性、水上转向灵活性、出入水能力、浮渡稳定性和抗风浪能力。

坦克装甲车辆按照行驶装置结构原理，可分为陆上和水上两类。

（一）陆上行驶推进系统

陆上行驶推进系统有轮式和履带式两种。

1. 轮式推进系统

汽车的普及使轮式车辆的技术日趋完善，相比载重汽车，轮式装甲车辆推进系统对车辆的通过性提出了更高的要求。现代轮式装甲车辆选用柴油机作为动力来源，并用装甲车体代替车架，采用多轴驱动，能够越野行驶，具有克服一般障碍的能力。有的装甲车辆还带有中央充气系统，能够修补战时损坏的轮胎。坦克装甲车辆的陆上最大车速达到 100 km/h，最大行程可以达到 1 000 km。

轮式推进车辆具有质量小、造价低、车速高、最大行程大、寿命长、维修保养方便的优点，但是越野能力和防护能力逊于履带式推进车辆。轮式车辆一般适用于步战车、装甲输送车、救护车、指挥车、侦察车、通信车、导弹发射车等。

2. 履带式推进系统

不同于轮式推进系统，履带式推进系统的主动轮是通过履带与地面接触的，几个负重轮也是通过履带作用到地面上的。这样，车辆对地面的单位压力小，克服障碍能力强，越野性能好。另外，履带式推进系统可以配置强大的火力和坚强的装甲，承载能力强，这是轮式驱动车辆不可比的。现代履带推进的坦克装甲车辆普遍采用大功率柴油机或燃气轮机、综合式液力机械传动装置、液压无级转向机构、主动或半主动悬挂，这使车辆的机动性能进一步得到提高。

履带推进的装甲车辆使用寿命低、造价高、车速较低，一般适用于主战坦克、步兵战

车、特种坦克、自行火炮等。

(二) 水上行驶推进系统

水陆两栖车辆通常有两套推进系统：一套陆上推进，一套水上推进。陆上行驶时，水上推进系统离合器断开，陆上推进系统离合器接合，动力传到陆上推进系统的主动轮；水上行驶时，陆上推进系统离合器断开，水上推进系统离合器接合，动力传到水上推进系统的水上行驶装置。水上行驶装置通常有划水式、螺旋桨式和喷水式三种。

划水式推进是利用装甲车辆的履带或轮胎划水，从而使车辆前进，改变两侧履带的速度差或者操纵转向轮可使车辆转向。挂倒挡可以使车辆水上倒车。履带划水最大航速为 5~7 km/h，轮胎划水最大航速可达 3~5 km/h。英国于 1918 年首先用履带划水进行坦克浮渡试验。现代履带式轻型装甲车辆通常采用履带式行驶装置，不单独增加独立的水上推进装置。中国 63 式装甲输送车采用了履带式划水行驶装置。轮式车辆多采用轮胎划水。

螺旋桨式是水上传动带动螺旋桨转动，螺旋桨的叶片排水产生反作用力使车辆行驶，改变螺旋桨旋转方向和方向舵角度可实现倒驶和转向。螺旋桨行驶航速可达 7~12 km/h。现代轻型履带式装甲车辆，如果对水上航速要求高，会采用螺旋桨行驶装置，如我国 551 式步兵战车采用双螺旋桨行驶装置。有的轮式装甲车辆也采用了螺旋桨行驶装置。

喷水式是水上传动带动水泵，水泵吸入水流由喷灌向后喷出，从而产生推力使车辆行驶，改变喷水方向可以使车辆转向或倒驶。喷水推进行驶航速可达 8~13 km/h。水陆坦克或两栖突击车多采用喷水行驶装置，如我国的 63A 式水陆坦克。

二、推进系统的布置形式

(一) 履带式推进系统

根据现有各种履带式车辆总体布置的特点，可将其归纳为四类基本方案。

1. 发动机和传动后置

发动机和传动后置方案又可分为发动机纵置、横置及斜置等三种方案，如图 6-0-1 所示。

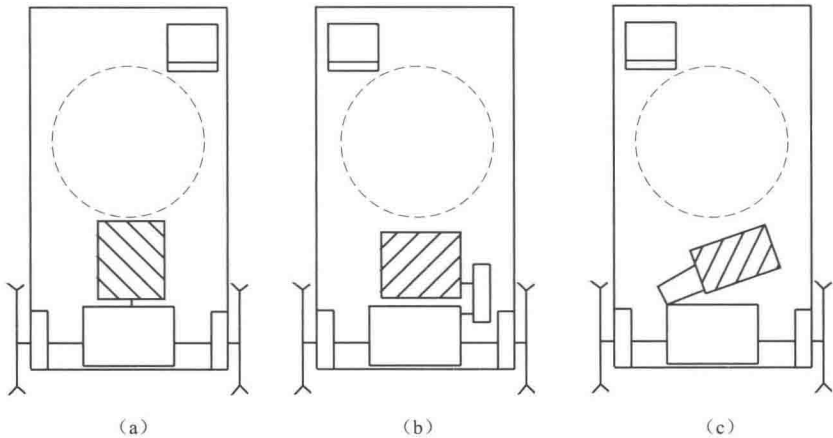


图 6-0-1 发动机和传动后置

(a) 发动机纵置；(b) 发动机横置；(c) 发动机斜置

(1) 发动机纵置

这是坦克装甲车辆中坦克最典型的总体布置形式，为第二次世界大战以来的大多数轻、中、重型坦克及现代的主战坦克所采用，如德国的“豹Ⅱ”、美国的 M1、英国的“挑战者”等。这种布置形式的主要特点如下：

① 战斗室与动力传动室之间的隔板短，驾驶室、战斗室易于密封，利于集体三防的设置。

② 车首没有传动部件，前部装甲倾斜角度大，利于正面防护。

③ 易于实现动力传动系统的整体吊装。

(2) 发动机横置

发动机横置、传动后置，是第二次大战后俄罗斯坦克所采用的主要方案。俄罗斯的 T54，我国的 59 式、96A 式，韩国的 XK-1 主战坦克等都采用该方案。该方案有如下特点：

① 传动装置与发动机在长度上有所重叠，结构紧凑，缩短了车体长度。

② 发动机和变速箱之间增加了传动箱，降低了传动系统的总效率。

(3) 发动机斜置

发动机斜置、传动后置方案只有瑞典 IKV91 轻型坦克采用，该方案利用对角线的最大长度来布置发动机，可节省车长的占用，并且比发动机横置减少了传动箱的啮合次数，而且只需使用一对锥齿轮。

2. 发动机后置、传动前置

这种方案曾在第二次世界大战时期，被美国、德国、日本等国的一些坦克所采用，主要有美国的 M4“谢尔曼”坦克、日本的 61 式坦克、德国的 PZkpfw 系列坦克等。这种方案的布置方式如图 6-0-2 所示，其主要特点如下：

① 传动操纵距离短，简便可靠，便于调整。

② 车内可接近传动及操纵部件，在战场上可在车内排除传动及操纵故障。

③ 驾驶室和传动室的长度重叠，可缩短车体长度，减小车体质量，并且可扩大战斗室的长度。

④ 发动机和传动部件分置于前后两端，车辆绕横轴的转动惯量较大，纵向角振动周期增长，改善了乘员的工作条件。

⑤ 传动轴穿过战斗室，被迫提高战斗室高度。车首有传动部件，车体前部窗口多且大，装甲倾斜较小，开窗多，这些都不利于车辆正面的装甲防护。这类方案已淘汰，新坦克装甲车辆已经不再采用。

3. 发动机和传动前置

所有的履带式装甲输送车和步兵战车、多数现代自行火炮和轻型坦克均采用发动机和传动前置方案，如瑞典 Strv103B 主战坦克和以色列的梅卡瓦主战坦克都采用这种方案。发动机和传动前置又可分为几种方案，如图 6-0-3 所示。

这种布置形式的主要特点如下：

① 驾驶室和动力传动室的布置空间利用合理，可以获得最大的利用空间和最轻、最短的车体，便于做成基型底盘，形成系列车族。

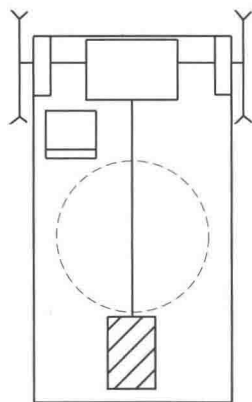


图 6-0-2 发动机后置、传动前置

② 战场条件下可在车内排除发动机和传动故障。

③ 战斗室布置在后，对于装甲输送车和步兵战车，以及指挥车、救护车等辅助车辆，可在车辆后部的装甲上开设战斗室出入口，便于人员安全上下车。对于众多的各型自行火炮，适合人员活动和弹药输送车不断地补充弹药，也有利于使大口径炮口少量伸出车体而便于通行。

④ 车首是动力传动室，车体前部窗口多，装甲倾斜较小，不利于车辆正面的装甲防护。

⑤ 动力传动室限制了火炮的向前俯角，迫使炮塔增高。

⑥ 发动机和传动部件的温度、噪声、气体、振动等对乘员的影响较大。

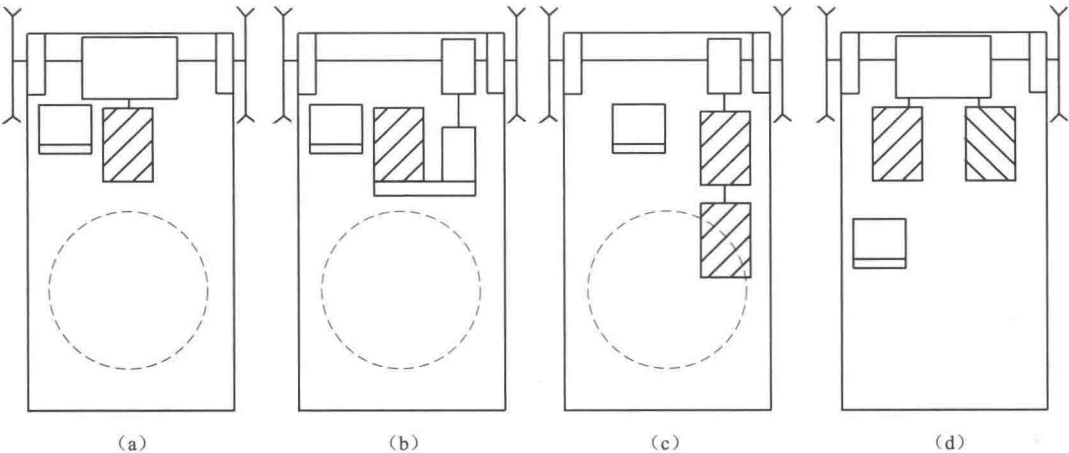


图 6-0-3 发动机和传动前置

(a) 发动机输出向前；(b) 发动机输出向后；(c) 发动机串联；(d) 发动机并联

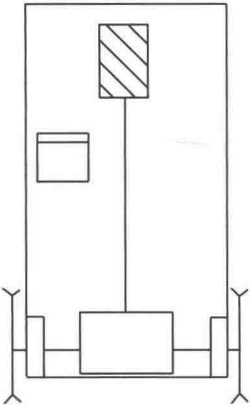


图 6-0-4 发动机前置、传动后置

4. 发动机前置、传动后置

发动机前置、传动后置方案用在一些非装甲的牵引车和越野车辆上，以轮式车辆为多，如图 6-0-4 所示。这种方案的主要特点是：

- ① 便于车辆在前进时得到迎风冷却。
- ② 由于有长轴穿过车体，迫使车体增高；车首有动力部件，车体前部窗口多，装甲倾斜较小，皆不利于车辆正面的装甲防护。对于非战斗车辆，装甲防护不高的车辆可以考虑发动机前置。

(二) 轮式推进系统

这里介绍的轮式装甲车辆，主要指多轴驱动的轮式输送车、轮式步兵战车、轮式突击车、轮式侦察车等，不包括民用的轮式车辆。

现有装甲车动力传动部分的布置顺序基本上保持着纵向布置的传统，即发动机、传动系依次纵向连接，当发动机前置时，传动系就向后布置；当发动机后置时，传动系就向前布置。

按照发动机位置的布置,有以下三种形式:

1. 发动机前置 (图 6-0-5)

发动机前置是目前大多数装甲输送车的典型方案,这种布置的特点是:

- ① 载员舱在后面,空间宽敞并且容易出入。
- ② 驾驶员容易接近发动机,维护方便。
- ③ 易改装成其他装甲载货汽车、工程车、救护车等。
- ④ 发动机前置防弹性差,装甲板不易采取大倾斜角的布置,正面装甲的防护力下降。
- ⑤ 车身前部无法密封,徒涉深度小。
- ⑥ 车首前突,盲视距离增大。
- ⑦ 驾驶部分周围温度高。

2. 发动机后置 (图 6-0-6)

发动机后置是轮式装甲战斗车辆的典型布置方案,其特点是:

- ① 车首无散热窗,采用大倾角装甲,防弹能力强,结构刚性大。
- ② 动力装置后置,不易被击毁。
- ③ 有利于轴荷的分配。
- ④ 改装成其他用途车辆比较困难。

发动机后置是装甲战斗汽车的流行方案,而某些装甲输送车也采用发动机后置方案。

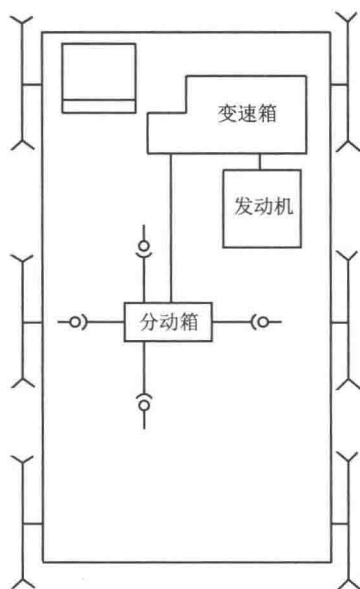


图 6-0-5 轮式车辆发动机前置布置图

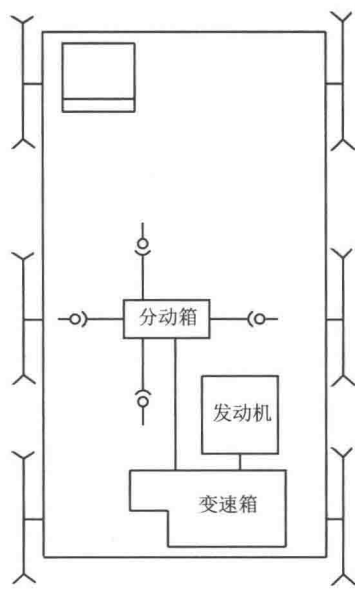


图 6-0-6 轮式车辆发动机后置布置图

3. 发动机中置 (图 6-0-7)

发动机中置的方案较少,法国潘那尔装甲战斗汽车采用了气冷卧式发动机,其采用了发动机中置的方案。

发动机中置方案的特点是:

- ① 发动机的位置和战斗部分重叠,能够最有效地利用车内空间,外形紧凑,并且减小了车质量。

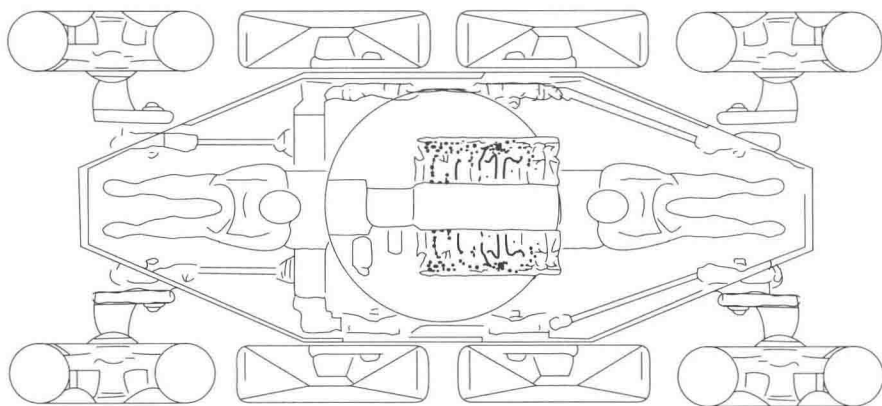


图 6-0-7 轮式车辆发动机中置布置图

- ② 具有最理想的防弹外形，车身结构刚度强。
- ③ 重心低，行驶稳定性好。
- ④ 驾驶员观察与工作条件好。
- ⑤ 轴荷配合理。
- ⑥ 动力装置防护可靠。
- ⑦ 散热条件差。
- ⑧ 拆装发动机时，必须先把炮塔吊起。

第七章

动力装置

推进系统中的动力装置主要指坦克发动机，它是坦克装甲车辆的心脏和原始动力。坦克装甲车辆所用发动机的性能将对坦克的外廓尺寸、质量、燃油经济性、机动性等方面产生重要影响。在一般情况下，发动机体积大约占推进系统的 35%。

目前，现代坦克装甲车辆上使用的发动机只有两种：大量使用的往复式柴油机和美国、俄罗斯坦克上采用的螺旋式燃气轮机。

第一节 坦克发动机的发展

坦克发动机和火炮、履带、装甲都是坦克诞生的技术基础。坦克诞生的近百年以来，坦克发动机的发展大体上经历了“汽油机时代”“柴油机时代”和“柴燃争雄时代”三个历史阶段。现如今的坦克大多采用柴油机作为动力，但最早的坦克几乎全部安装的是汽油发动机，柴油机和汽油机都属于往复式活塞式发动机。虽然在早期试制的样车中，有以蒸汽机为动力的坦克，但这种坦克从来没有批量生产过。燃气轮机也并不是新鲜事物，它在坦克装甲车辆动力探索中逐渐开拓了一片天地。

一、往复式活塞式发动机

随着工业革命的进步，石油工业开始大规模发展，较高品质的燃油提供了远优于煤炭的使用性能。1876 年，德国人奥托发明了汽油机，这种新型热机不仅功率高，而且质量小，有着比蒸汽机更高的热效率，这使得机械动力陆地车辆的大规模发展成为现实。经过数年发展之后，德国工程师卡尔·本茨于 1885 年在曼海姆制成了世界上第一辆机动车，从而宣告了汽车的正式诞生。

汽车的出现使人类首次获得了轻便、可靠的陆地机械动力，具有划时代的伟大意义。随后，世界各主要工业大国纷纷掀起了汽油机和汽车的研发浪潮。英国、德国和美国对汽车及发动机的研发和推广，促进了汽车的应用和普及。

历来的先进技术大多与军事有关，汽车也不例外。在 19 世纪末，出现了几种将机枪装在机动车辆上的机动机枪火力车，这是在近代工业化的基础上，将火力、机动、防护汇于一身的初步尝试。1898 年，美国人 R·P·戴维德松发明了机动机枪火力车，它是一种四轮机动车辆，有四名乘员，装一挺机枪，仅有简单的防护。

第一次世界大战前夕，西方各大国普遍装备的装甲汽车基本上是以民用汽车改装的为

主，搭载武器多为机枪，主要用于巡逻、侦察等任务。当时汽油机功率低，较低的单位功率和较大的地面压强限制了装甲汽车的机动性能。全轮驱动方式的出现改善了这个缺陷。

（一）20 世纪初—20 世纪 40 年代

第一次世界大战期间诞生了坦克，最初的坦克选用了汽车用直列 4 缸或 6 缸水冷汽油机，功率为 26~110 kW。在大战结束后 10 年左右的时间里，坦克装甲车辆迅速发展。一些国家研制、装备了多种坦克，其动力主要是汽油机，少数则采用了柴油机。

早在 1897 年，法国出生的德国工程师狄塞尔就成功研制了工程实用的四冲程柴油机，这种柴油机由于显著提高了热效率而引起了人们的重视。早期柴油机燃料采用压缩空气喷射，但笨重的附属装置限制了其在行走机械上的应用。1922 年，德国人博世发明的机械式燃油喷射装置改变了这一状况。陆地车辆用的小型、高速柴油机开始出现，并获得广泛的应用。

20 世纪 30 年代初期，苏联、日本和波兰等国便先后研制出坦克用柴油机，开创了坦克动力装置“柴油机化”的先河。但是，“第一种现代坦克柴油机”的称号，毫无疑问属于苏联开发的 B₂ 系列大功率柴油机。

第二次世界大战期间，仅苏联在其大多数坦克上安装 B-2 系列柴油机（图 7-1-1）；其他各国均以汽油机为主，而且所用汽油机种类、型号繁杂，其发动机功率在 88~515 kW。这一时期，世界各坦克大国在坦克发动机的研发方面各具特色。

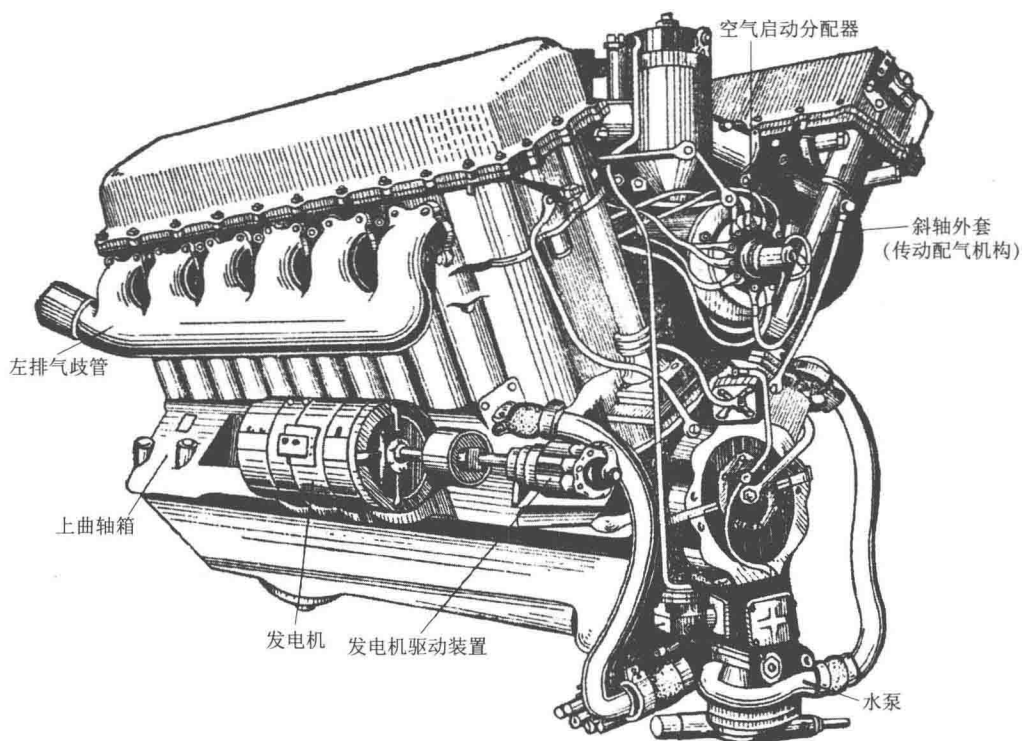


图 7-1-1 B-2 坦克柴油机

（二）20 世纪 50—60 年代

20 世纪 50 年代，苏联在其重型坦克 T-10 上安装了功率为 552 kW 的机械增压柴油机，联邦德国在“豹 I”上安装了 610 kW 的机械增压柴油机，英国则在“奇伏坦”坦克上安装了 515 kW 的二冲程柴油机。

第二次世界大战后的 10~15 年间，坦克主要使用 V 型 12 缸、四冲程水冷柴油机和 V 型 12 缸、四冲程风冷汽油机，功率一般在 176~596 kW。由于柴油机的燃油消耗率较汽油机的低 20%~30%，在相同的燃料容积条件下，坦克行程储备大；另外，柴油运输、储存、使用比较安全，火灾危险小。因此，50 年代各国坦克动力发展的主要趋势是柴油机化，装机功率略有提高。

随着叶片机技术的发展，美国“大陆”公司于 1959 年成功研制了涡轮增压、风冷坦克用柴油发动机 AVDS1790-2，并于 60 年代初装备于 M60 坦克。60 年代中期，该公司又研制了 AVCR1360-2 可变压缩比活塞、涡轮增压柴油机，其功率可达 1 103 kW。随后该公司又发展了可变截面涡轮增压系统。

（三）20 世纪 70—80 年代

20 世纪 70 年代以来，随着涡轮增压技术、中冷技术的发展，坦克发动机通过提高增压度和对增压空气进行冷却等途径，大幅度提高柴油机功率；同时，通过改善发动机扭矩特性，并使其结构更加紧凑、可靠，来使油耗率进一步降低。到 70 年代末，已装备的涡轮增压中冷机型有：联邦德国“豹 II”坦克的 MB873Ka-500 发动机、英国“挑战者”坦克的 CV12TCA 发动机、美国康明斯公司（Cummins）的 V903 柴油机。法国于 70 年代开始在民用柴油机基础上研制超高增压坦克发动机，苏联仍以机械增压柴油机为主。

20 世纪 80 年代以来，微电子控制、燃油喷射、涡轮增压可调技术的发展，使车辆柴油机性能获得突破性进展，典型的机型是德国的 MT883Ka-500 和美国的 XAV28-1450 可变截面增压中冷、低散热坦克柴油机。

（四）20 世纪 90 年代

20 世纪 90 年代，法国“勒克莱尔”主战坦克装备了 11 003 kW 超高增压旁通补燃发动机 UDV8X1500。MT883Ka-500 发动机则强化成 MT883Ka-501 发动机，功率达 1 200 kW。以 MT883Ka-501 为基础，采用顺序增压并提高转速至 3 300 r/min、压缩比至 4.8 而研制出的 MT883Ka-512 发动机，功率则达到 1 660 kW；采用两级增压、中冷和顺序增压研制出的 MT883Ka-523，其功率更是提高到 1 920 kW，用于高航速两栖车辆。

这时期的发动机普遍采用电子控制、可调增压器、电磁控制单体燃油喷射泵，以及中、高压共轨燃油喷射系统和压气机性能拓宽等新技术，典型的有美国的 M11 带全电子控制管理系统柴油机、德国的带单体燃油喷射泵的 1015 柴油机。

二、燃气轮机

1902 年，美国工程师莫科制造了燃气轮机装置，其空气压缩机由燃气轮机驱动。

20 世纪 20 年代中期，许多学者和工程师为发展燃气轮机的理论和设计进行了卓越的工作：苏联的茹科夫斯基院士等为现代涡轮流体动力学理论奠定了基础，法国工程师吉奥马在燃气轮机布置上提出了将涡轮压气机和动力涡轮分别置于不同的轴上，即双轴燃气轮机的设想。

（一）20 世纪 30—40 年代

20 世纪 30 年代初，燃气轮机理论逐渐形成。苏联学者乌瓦洛夫教授在建立燃气轮机理论方面做出了重大贡献，并于 1935 年出版了《燃气轮机》一书。

1937 年，英国和德国均开始了涡轮喷气发动机的试验；1939 年，装有涡轮喷气发动机的飞机在德国腾空而起；1941 年，喷气式飞机首次在英国进行了飞行试验。此后十年多的时间里，作战飞机全部使用了燃气轮机。航空动力发生如此大的变革，其根本原因是燃气轮机较往复式活塞式发动机具有更高的单位体积功率和单位质量功率，以及更高的可靠性、耐久性。

20 世纪 40 年代末期，苏联进行了地面运载车辆用燃气轮机的研究，并于 1948 年开始军用履带车辆试验燃气轮机的研制。

（二）20 世纪 50—60 年代

由于燃气轮机在飞机上显现出了杰出性能，英国、美国和苏联等国于 20 世纪 50 年代开展了多种用于地面车辆的燃气轮机的研究工作。

英国为坦克研制了 735 kW 的帕森斯（Parsons）坦克燃气涡轮轴（Turboshaft）发动机，该发动机为无回热循环，组成结构上包括由一级离心式压气机和一级轴流涡轮组成的燃气发生器转子、二级轴流涡轮构成的动力涡轮转子及两个单筒燃烧室。

美国莱卡明（Lycoming）发动机公司研制了功率为 625 kW 的 T-53 坦克燃气涡轮轴发动机，该机为无回热循环，结构上包括由五级轴流式压气机、一级离心式压气机和一级轴流涡轮组成的燃气发生器转子、一级轴流涡轮构成的动力涡轮转子和一个环形燃烧室。

1955 年，苏联着手研制坦克用燃气轮机，在 1956—1957 年研制出两台功率为 735 kW 的 ГТД-1 坦克用燃气轮机。高尔基汽车厂研制了功率为 184 kW 的 ГАЗ-99Б 的燃气轮机，将其装于 БТР-60П 轮式装甲输送车并进行了试验。

1965 年，鄂木斯克的特种设计室研制了 ГТД-3ТН 坦克试验用燃气轮机，其功率为 588 kW，横向装于重型坦克并进行了约 4 000 km 的试验。

1962—1967 年间，车里雅宾斯克厂为坦克专门研制了带回热器的 ГТД-700 燃气轮机，其功率为 618 kW。

1968 年 12 月，克里莫夫厂成功研制了功率为 735 kW 的 ГТД-1000Т 三轴坦克燃气轮机。

1967 年，瑞典装备的 Strv-103b 坦克选用了柴油机与燃气轮机并联的组合动力装置。

（三）20 世纪 70—80 年代

1976 年 12 月，经过激烈的争论和技术评定，美国陆军正式宣布新型主战坦克选用燃气轮机为动力。1979 年命名的 AGT-1500 坦克燃气轮机（图 7-1-2）正式投入生产，其功率为 1 119 kW；1980 年，以 AGT-1500 燃气轮机为动力的 M1 主战坦克正式列装于美军。

1970 年，苏联的 ГТД-1000Т 坦克燃气轮机开始批量生产；1976 年 7 月 6 日，以燃

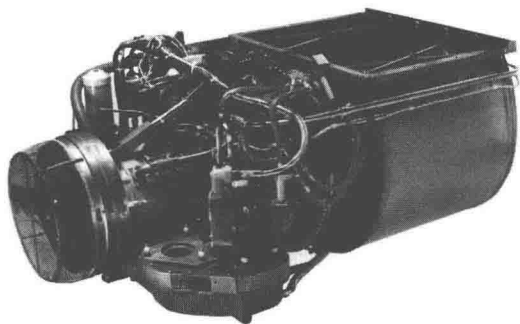


图 7-1-2 AGT-1500 燃气轮机发动机

气轮机 ГТД-1000T 为动力的 T-80 主战坦克正式列装于苏军；1986 年，ГТД-1000T 燃气轮机功率增至 809 kW，装备于 T-80B 主战坦克；80 年代末期，ГТД-1000T 燃气轮机进一步强化，功率达 920 kW，并被命名为 ГТД-1250。

1982 年，美国开始了第四代坦克推进系统的论证研究；1984 年，作为第四代推进系统动力方案之一的 LV100 燃气轮机性能样机开始研制；1990 年，LV100 燃气轮机完成研制，样机性能完全达到陆军的要求。

（四）20 世纪 90 年代

1990 年 12 月，美国陆军与通用电器公司签订了研制 LV100 全尺寸样机的合同。1996 年，通用电器公司完成了 LV100 全尺寸样机的研制。

1990 年，ГТД-1250 燃气轮机正式生产，并装备于 T-80y 主战坦克。1995 年，俄罗斯已将 ГТД-1250 燃气轮机的功率提高至 1 103 kW，并于 1997 年装于“黑鹰”主战坦克。

三、转子发动机

在对现有柴油机、燃气轮机进行改进和提升性能的同时，各国也在不断地对新原理、新类型发动机进行探索和研制开发，比较典型的是转子发动机。

转子发动机的最初发明者是德国人菲加式·汪克尔，他在总结前人的研究成果的基础上，解决了一些关键的技术问题。1951 年，菲加式·汪克尔与德国的 NSU 公司签订了转子发动机开发协议。1954 年 4 月 13 日，世界上第一台转子发动机在德国的 NSU 公司诞生，并于 1958 年进行了一系列测试。1960 年，汪克尔就转子发动机在德国工程师协会的一次讨论中做了首次公众讨论。1962 年，德国的 NSU 公司在法兰克福车展上展出了装备汪克尔转子发动机的新车型。对转子发动机情有独钟的马自达公司投入巨资买下这项技术，并付出巨大的代价，逐步克服了转子发动机的缺陷，成功地由试验性生产过渡到商业性生产，并将安装转子发动机的 RX-7 型跑车打入了美国市场，令世界刮目相看。

20 世纪 60 年代以后，日本、英国、美国等相继研制大功率柴油转子发动机。这种发动机的单位体积功率大、压缩比高、结构简单、运行平稳、经济性比燃气轮机的好。美国柯蒂斯·莱特公司将分层进气燃烧系统应用到转子发动机上，解决了转子发动机最高爆发压力大，以及三角活塞和壳体密封有关的结构、材料的工作可靠性和使用寿命问题，使其在坦克装甲车辆上的应用成为可能。柯蒂斯·莱特公司现在已经研制出 SCORE70、SCORE170 和 SCORE580 三种系列转子发动机（图 7-1-3）。

SCORE 各系列发动机具有高单位体积功率、低比质量、多燃料、模块化及通用化程度高的特点。尽管 SCORE580 系列中的双转子发动机在 607 kW 的功率下完成了大约 400 h 的耐久性试验，以及更严格的性能、环境试验和近 3 000 h 的可靠性试验，但密封件易于磨损被认为是转子发动机的一个固有缺点，因此，转子发动机的工作可靠性和使用寿命尚待实践证

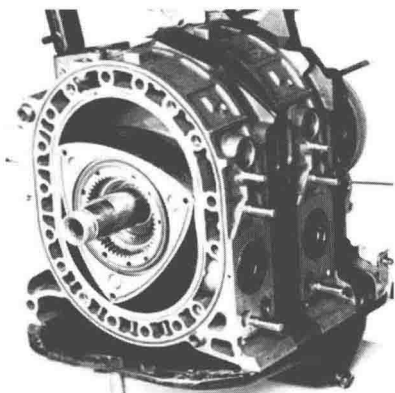


图 7-1-3 SCORE 转子发动机

实。转子发动机要在坦克上使用,还有很多技术问题要解决,还有很长的路要走。

四、坦克装甲车辆动力发展趋势

坦克发动机将主要朝着高功率密度、良好的扭矩特性、低燃油消耗率、高可靠性和寿命、良好的维修性的方向发展。随着往复式活塞式柴油机功率密度的增长,其所承受的机械和热负荷越来越高,存在着由风冷发动机向水冷发动机发展的趋势。燃气轮机在继续提高循环过程温度、优先选择压比及回热器效率、进一步降低使用油耗、减小体积等方面,将获得较大进展,从而在主战坦克上继续扩大应用。

旋转活塞式发动机在未来装甲车辆上也有应用的可能。

随着高新技术的发展,新能源(核能、燃料电池及太阳能)在坦克装甲车辆上也存在着应用的前景。

第二节 柴油发动机简介

一、工作原理简介

当前,世界各国主战坦克上使用的柴油发动机中,除日本 90 式主战坦克采用两冲程发动机外,其余均采用四冲程柴油发动机。发动机每做一次功要经过进气、压缩、做功、排气四个动作的连续过程,把柴油机的化学能转变成热能,再将热能转变成机械能。每个过程称为一个冲程,即进气冲程、压缩冲程、做功冲程和排气冲程。

1. 进气冲程

发动机进气门开放,排气门关闭,活塞从上止点下行,活塞上部气缸容积增大,压力降低,并且低于外部气压。外部空气进入气缸。当活塞运行到下止点时,进气门关闭。上止点指的是活塞运动时,活塞顶在气缸内所能达到的最高位置;下止点指的是活塞运动时,活塞顶在气缸内所能达到的最低位置。活塞从上止点运动到下止点,曲轴旋转 180° ,如图 7-2-1(a) 所示。

2. 压缩冲程

进、排气门关闭,活塞从下止点上行,活塞上部气缸容积减小,压力升高,温度升高。压缩行程临近结束,高压柴油喷入气缸内并与压缩空气混合,由于温度达到柴油的燃点,此时柴油自行燃烧。活塞从下止点运动到上止点,曲轴旋转 180° ,如图 7-2-1(b) 所示。

3. 做功冲程

柴油燃烧后,气缸内的压力、温度急剧上升,活塞被推动下行,并经连杆机构带动曲轴旋转,将柴油燃烧后的热能转换成机械能。活塞从上止点运动到下止点,曲轴旋转 180° ,如图 7-2-1(c) 所示。

4. 排气冲程

做功冲程结束,排气门开放,活塞从下止点上行,燃烧后的废气高于外部气压,在活塞的推动下,高压、高速的废气从排气门排出。活塞从下止点运动到上止点,曲轴旋转 180° ,如图 7-2-1(d) 所示。

发动机每做一次功,活塞在气缸内上、下各运动两次,完成进气、压缩、做功、排气四

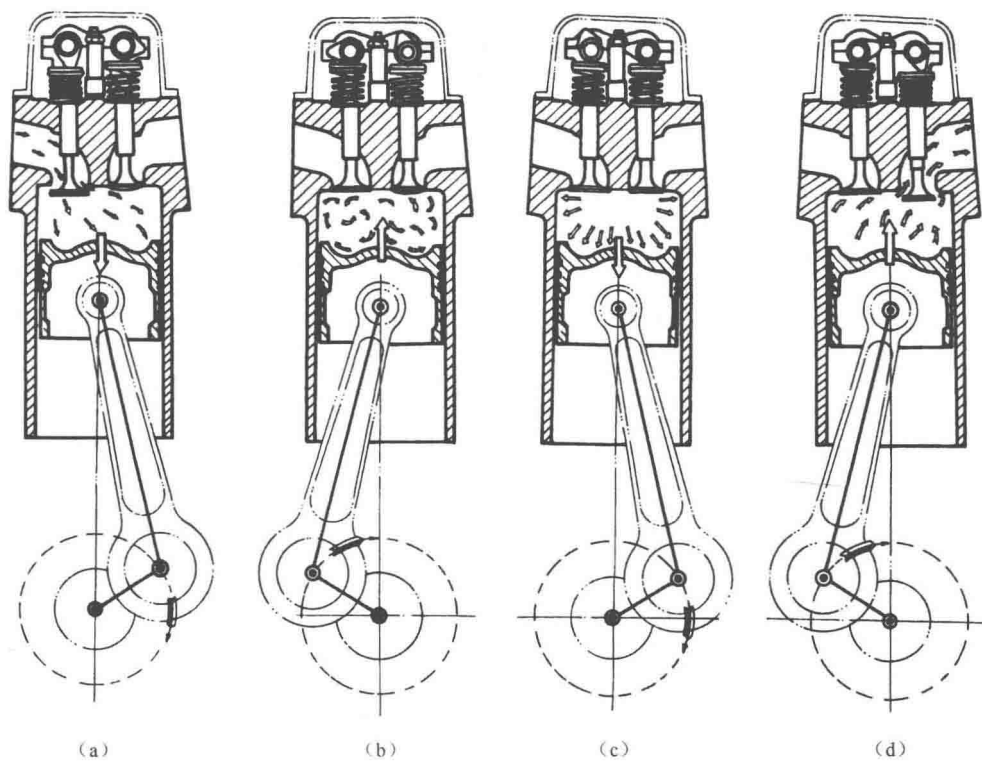


图 7-2-1 四冲程柴油机工作原理

个连续过程，曲轴旋转两圈。重复这个过程，发动机即连续工作。

二、构造

我国主战坦克、履带式装甲车辆、自行火炮等用的发动机基本上为我国自行生产的 12150 系列废气涡轮增压水冷柴油机。我国某主战坦克发动机外形如图 7-2-2 所示，其主要参数见表 7-2-1。

表 7-2-1 发动机主要参数

项目	参数	项目	参数
气缸数	12	缸径与冲程/（mm×mm）	150×180
排量/L	38.8	气缸排列	V 型 60°
压缩比	13~14	吸气形式	废气涡轮增压
额定功率/kW	537	额定转速/（r·min ⁻¹ ）	2 000
最大扭矩/（N·m）	2 992±98	最大扭矩转速/（r·min ⁻¹ ）	1 300~1 400
曲轴转向	顺时针	质量/kg	1 050

12150 系列发动机基本上由三大机构和五个系统组成，即曲轴连杆机构、联动机构、气体分配机构，以及供给系、润滑系、冷却加温系、空气启动系和增压系。

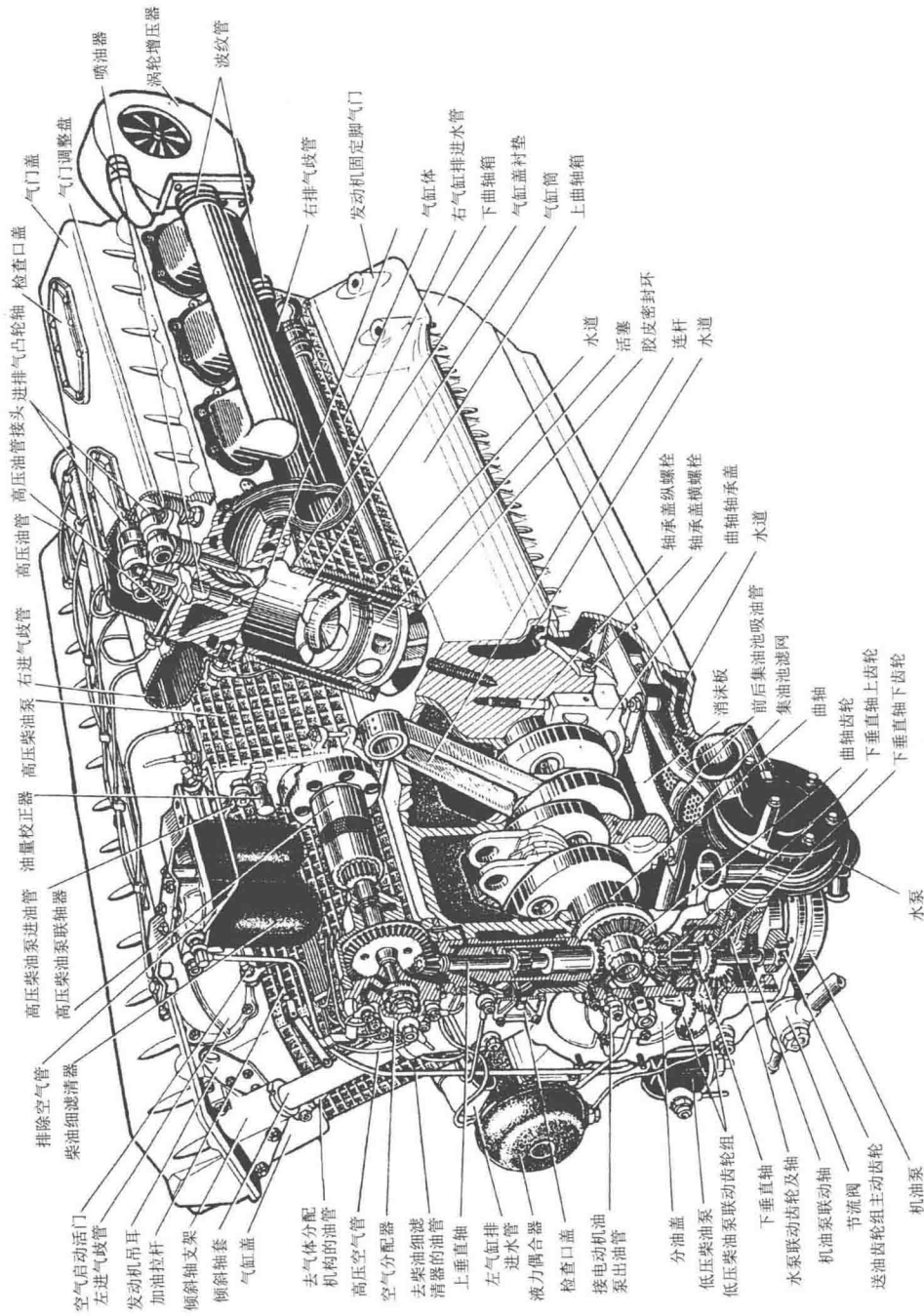


图 7-2-2 柴油发动机剖视图

（一）曲轴连杆机构

1. 功用

曲柄连杆机构将气缸中燃料燃烧产生的热能转变为曲轴旋转的机械能，将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动。它是一种能量转换机构。

2. 构造

曲柄连杆机构由活塞组、连杆组、曲轴组等活动构件和气缸排、曲轴箱等固定构件组成。

（1）活塞组

活塞组由活塞、活塞环、活塞销等组成（图 7-2-3）。

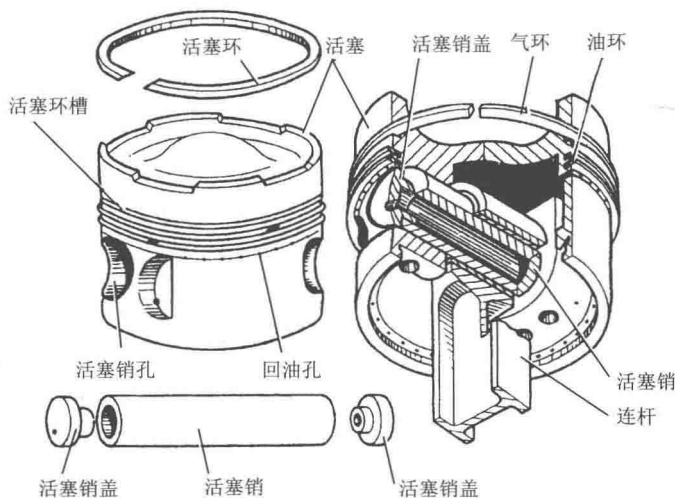


图 7-2-3 活塞组

活塞用于与气缸筒和气缸盖组成燃烧室。工作中，活塞承受气缸中燃烧气体产生的高压热负荷作用，并将这种作用力经连杆传给曲轴，从而对外做功。

（2）连杆组

连杆组由装在左排气缸内的主连杆和装在右排气缸内的副连杆及连杆销组成，用于连接活塞与曲轴，将活塞承受的气体推力传递给曲轴。

（3）曲轴组

曲轴组由曲轴、曲轴尾、止推和输出密封装置等组成（图 7-2-4），用于将活塞、连杆传来的气体压力转换成扭矩，分别传给曲轴两端的传动装置和联动机构，将活塞的往复直线运动转化成曲轴旋转运动。

（4）气缸排

气缸排由气缸筒、气缸体、气缸盖、气缸垫和气门室盖等组成，分为左、右两排（图 7-2-5），用于安装活塞组和气体分配机构。

（5）曲轴箱

曲轴箱由铝合金铸成的上、下曲轴箱体组成（图 7-2-6），用于安装曲轴和左、右气缸排等组件。

上、下曲轴箱之间通过轴瓦和轴承盖安装着曲轴。

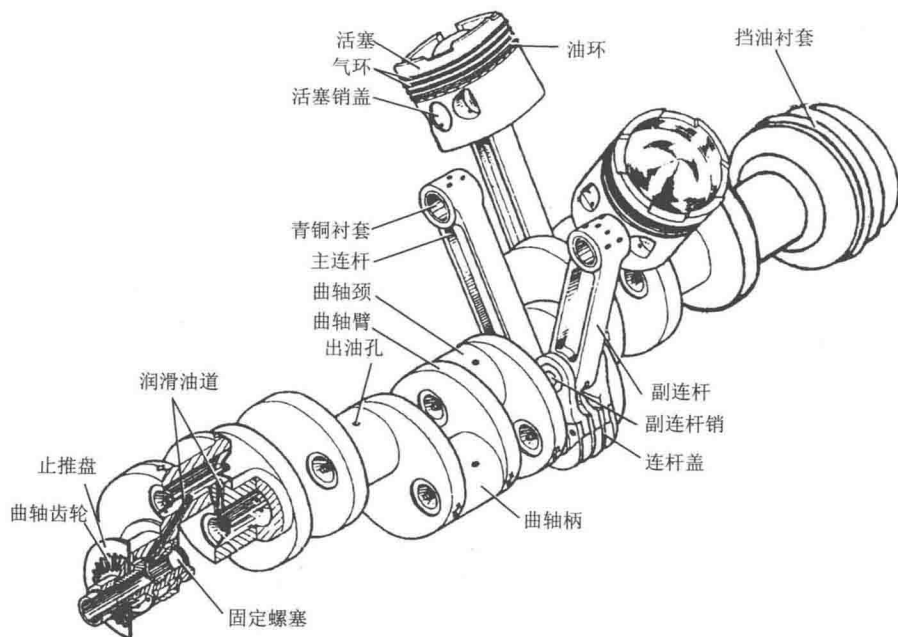


图 7-2-4 曲轴组

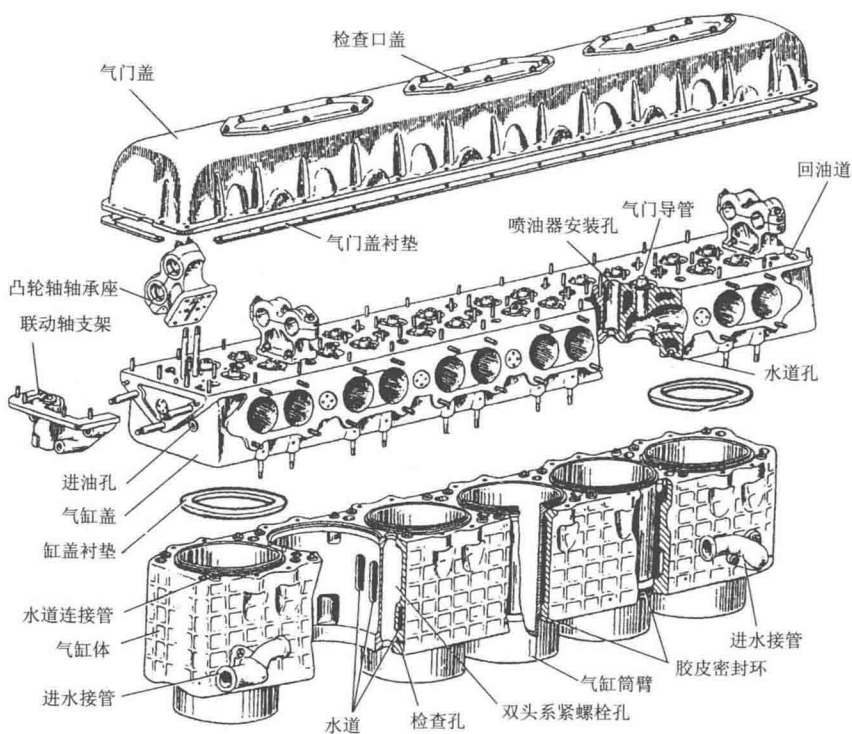


图 7-2-5 气缸排

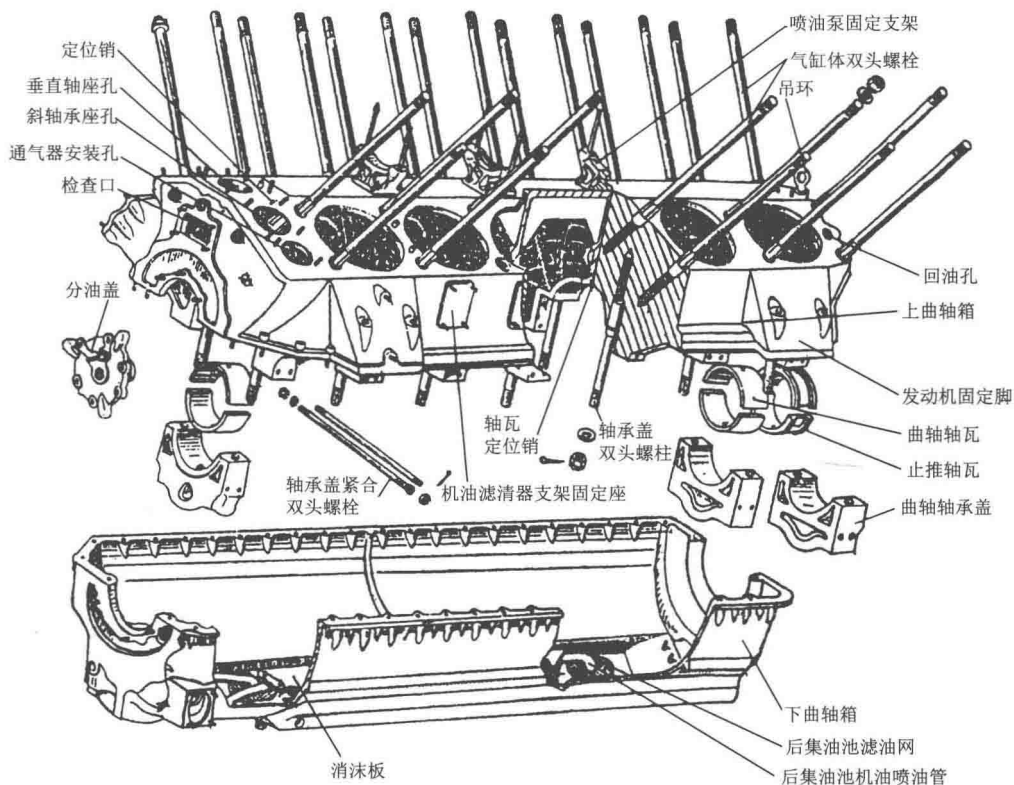


图 7-2-6 曲轴箱

(二) 气体分配机构

1. 功用

气体分配机构按气缸工作顺序,适时开闭进气门和排气门。

2. 构造

气体分配机构安装在气缸盖上部,如图 7-2-7 所示,由气门组、凸轮轴组等组成。

(1) 气门组

气门组由气门、气门弹簧、调整垫、锁盘、气门导管和气门座组成。每个气缸有装在气门导管内的进、排气门各两个，分别由进、排气凸轮轴控制。进气门顶部为平面结构，排气门采用凸顶结构以减小排气阻力，进气门头直径比排气门的大。气门杆上装有调节气门间隙的调整盘，调整盘下端面有三角齿。气门顶杆与锁盘采用三角键连接，锁盘端面的齿借助气门导管外的两个旋向不同的弹簧产生的弹力向上锁紧调整盘，保证气门关闭时与气门座的密封。

(2) 凸轮轴组

凸轮轴组用于按照气缸的工作顺序,定时开、闭进气门和排气门,它由凸轮轴、轴承座、凸轮轴齿轮、调整齿套等组成。每个气缸排有进气凸轮轴、排气凸轮轴各一根。工作时进气凸轮轴顺时针转动,排气凸轮轴逆时针转动。进、排气凸轮轴上各有六对凸轮,每对凸轮按气缸工作顺序相隔 60° 。

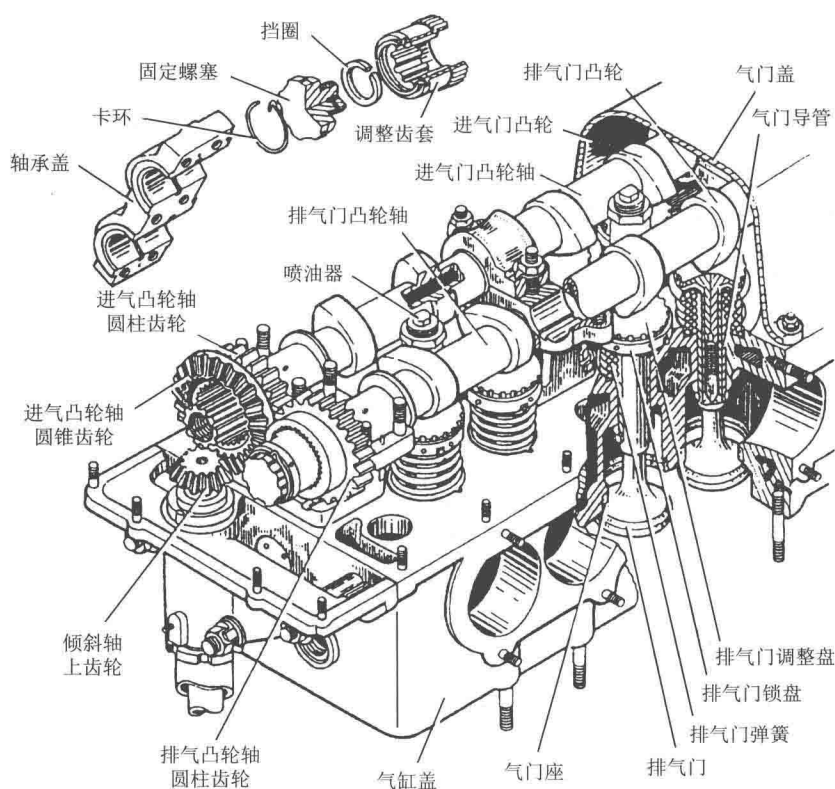


图 7-2-7 气体分配机构

工作时，曲轴每旋转两周，凸轮轴转一周，各缸进、排气门各开、闭一次。

(三) 联动机构

1. 功用

联动机构用于将曲轴部分动力传递给气体分配机构和各附件，使它们与曲轴运动配合，保证发动机的正常运转。

联动机构的动力传递如图 7-2-8 和图 7-2-9 所示。

2. 构造

联动机构包含上曲轴箱传动部分和下曲轴箱传动部分（图 7-2-10）。上曲轴箱传动部分包括曲轴齿轮，上垂直轴，高压油泵及空气分配器联动齿轮轴，左、右倾斜轴，发动机倾斜轴与液力耦合器等。下曲轴箱传动部分包括下垂直轴、低压柴油泵联动齿轮组、转速表传感器联动装置、水泵联动齿轮及轴、机油泵联动轴等。液力耦合器的作用是将发动机倾斜轴传来的动力，经减震后传给发动机，以提高发动机寿命。

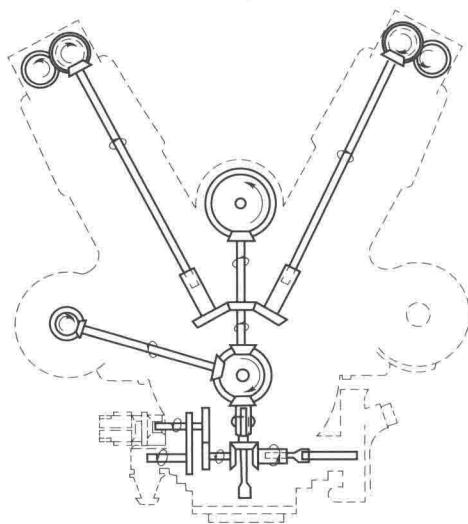


图 7-2-8 联动机构工作示意图

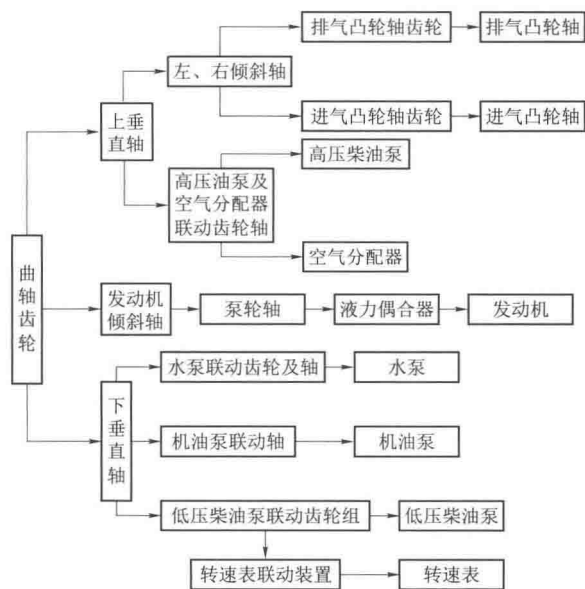


图 7-2-9 联动机构的动力传递示意图

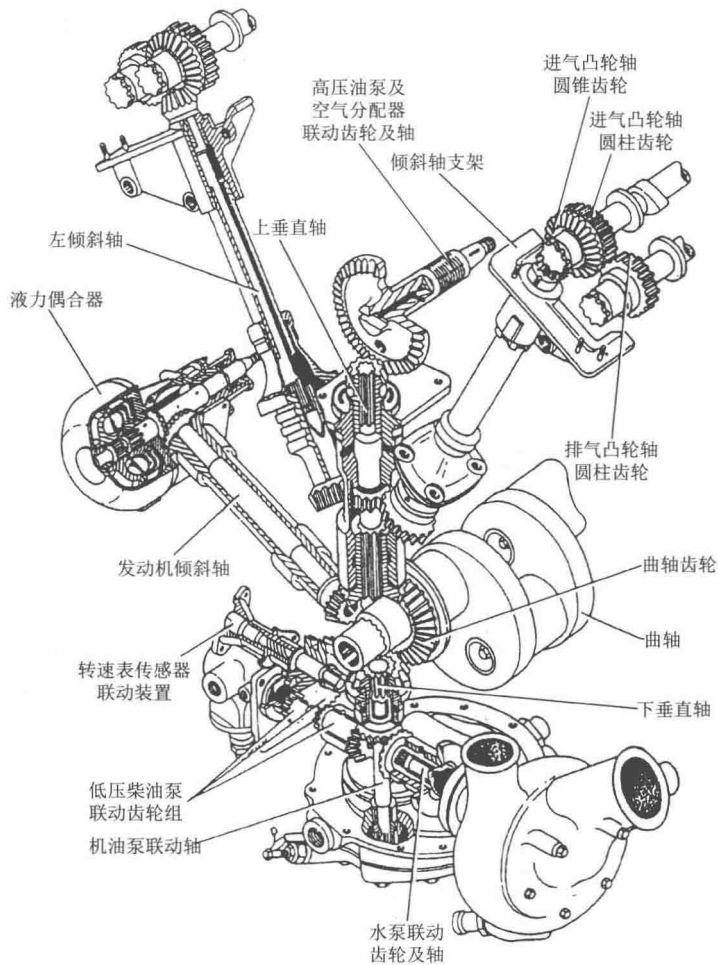


图 7-2-10 联动机构

(四) 供给系

供给系用来供给发动机工作所需要的燃料和空气，以保证发动机连续而正确地工作。供给系分为燃油供给系、空气供给系和排气系等部分。

1. 空气供给系

(1) 功用

空气供给系为发动机提供清洁的空气。

(2) 构造

空气供给系采用两级综合式（惯性、接触式）空气滤清器，由空气滤清器、前活门、连接管、密封挡板、后活门、夹布胶管等组成（图 7-2-11）。

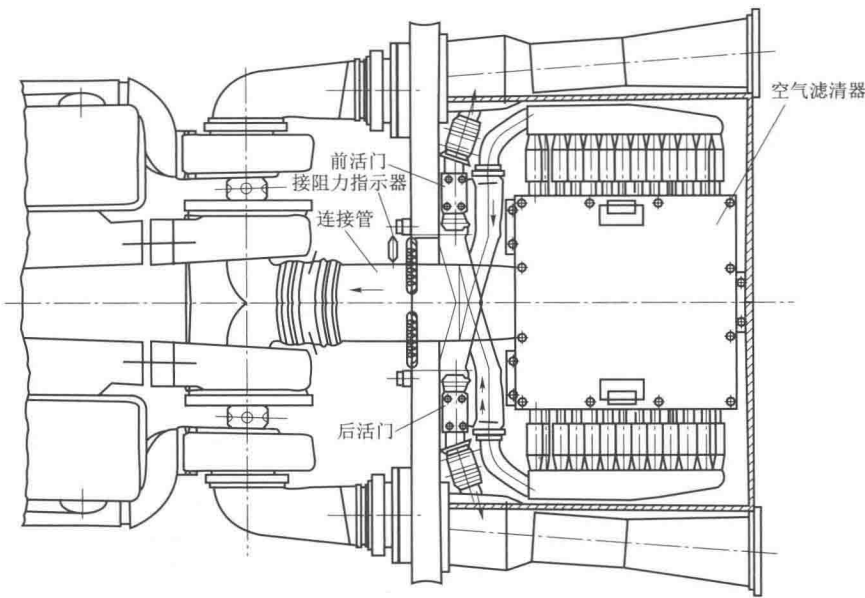


图 7-2-11 空气供给系简图

空气滤清器由一级滤清器、二级滤清器、盖板、头部等组成（图 7-2-12）。

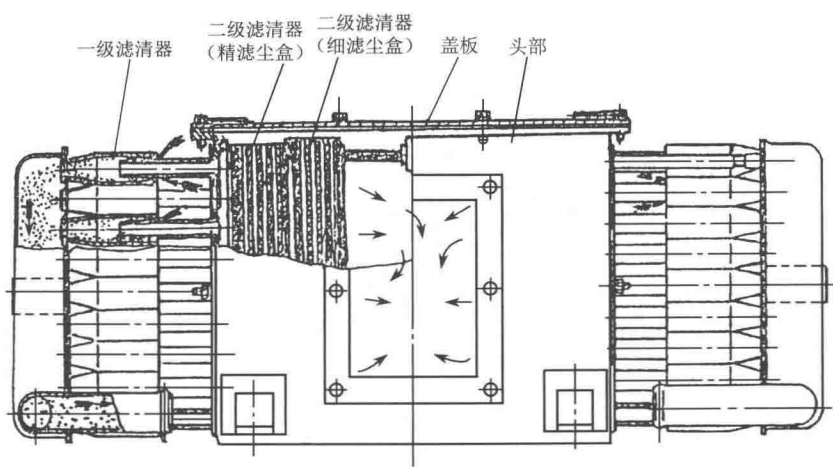


图 7-2-12 空气滤清器及其工作

一级滤清器属于轴向离心旋风式，用于滤除大颗粒尘土，它分为前一级滤清器和后一级滤清器，固定在空气滤清器头部两侧。二级滤清器为深度过滤性，用来过滤颗粒较小的尘土，安装在空气滤清器头部两侧、一级滤清器导流管出口处，它依靠机油黏住小颗粒尘土。

2. 燃油供给系

(1) 功用

燃油供给系的作用是：

① 按发动机工况变化和各缸工作顺序，将一定数量的燃油加压，并在适当时刻将燃料按时、适量地喷入燃烧室，形成燃油或油膜后与空气混合，形成可燃混合气；

② 滤除油料中的杂质和水分；

③ 储存的燃料能实现坦克最大行程。

(2) 构造

燃油供给系由柴油箱、柴油分配开关、手摇柴油泵、低压柴油泵、高压柴油泵、高压柴油泵操纵装置、柴油粗及精滤清器、喷油器、排除空气开关、油面指示器等组成（图 7-2-13）。

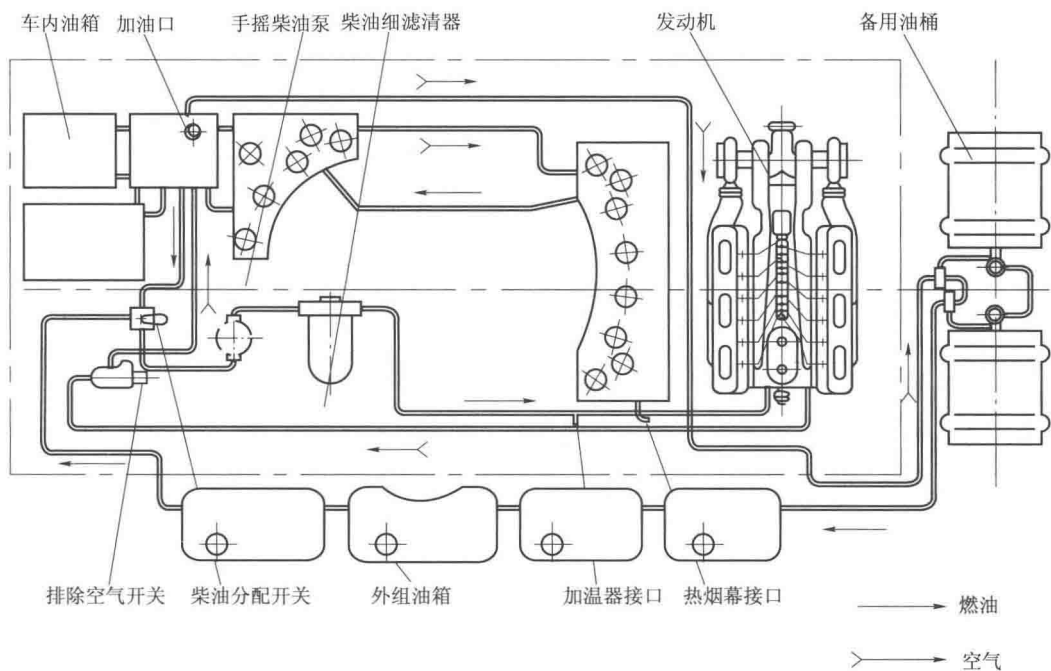


图 7-2-13 燃料供给系简图

柴油箱用来储存坦克最大行程所需要的柴油。柴油箱包括前组柴油箱、右柴油箱、弹架油箱、外组油箱和备用油桶。

柴油分配开关用来连通或断开任何一组柴油箱的油路，它固定在驾驶椅右侧底装甲板上。

手摇柴油泵用来在启动发动机前，将柴油送到高压柴油泵和加温器柴油泵，并与排气开关配合，排出油路中的空气。

排除空气开关用来在启动发动机前与手摇柴油泵配合，排出油路中的空气，便于启动发动机。

低压柴油泵用来在发动机工作时，将柴油输送到高压柴油泵。低压柴油泵是一个叶片泵，

固定在发动机下曲轴箱左前侧。

高压柴油泵用于按气缸工作顺序将适量的柴油增高压力，再适时地供给喷油器。

高压柴油泵装在两气缸排之间，并固定在上曲轴箱的三个固定支架上，如图 7-2-14 所示，它由泵体、凸轮轴、柱塞推杆、供油组（图 7-2-15）、出油活门、联轴器等组成。

柴油泵的高压油经喷油器体内垂直油道和倾斜油道进入喷雾嘴内腔，当其压力达到 20 MPa 时，压缩弹簧顶起压杆和喷针，柴油由喷嘴孔喷入气缸与空气混合。高压泵停止供油时，各个零件回复安装状态，停止喷油。

高压柴油泵操纵装置用来供驾驶员调节供油量。

高压柴油泵操纵装置由加油踏板、调整螺栓、踏板轴、倾斜拉杆、双臂杠杆、垂直拉臂、加油拉杆、两个限制螺钉、回位弹簧、手操纵装置拉杆、纵拉杆等组成（图 7-2-16）。

踏下加油踏板或拨动手加油齿杆，纵拉杆向前，加油拉杆和加油齿杆也随着移动，并克服回位弹簧阻力，带动齿圈转筒和柱塞转动一个角度，使柱塞的垂直油槽离开进、排油孔。曲轴旋转时，经联动机构带动凸轮轴旋转，柱塞上下运动，使高压柴油泵按气缸工作顺序将适量的柴油加压，并适时地供给喷油器。

供油量的大小与加油齿杆带动齿圈及转筒转动的角度有关，柱塞转动的角度越大，则柱塞上行时，螺旋切边打开进、排油孔的时刻越晚，供油就越多；反之，则越少。

松开加油踏板或将手加油杆推到上方位置时，操纵装置各拉杆、齿圈、转筒和柱塞在回位弹簧的作用下回到原位，由于柱塞的垂直油槽正对进、排油孔，当高压柴油泵凸轮旋转时，柱塞筒内的柴油经垂直油槽、环形油槽流回泵体内油槽，使高压泵供油停止，如图 7-2-17 和图 7-2-18 所示。

手加油齿杆用来固定发动机最低稳定转速。踏加油踏板时，若将手加油杆向下移动，踏板也跟着向加油方向移动；当手加油齿杆固定在一定位置时，松开踏板，发动机不能熄火，要使发动机熄火，必须将手加油齿杆握把推到最上位置。

发动机供油齿杆位置不变时，高压柴油泵的供油量会随柴油机转速的变化而变化，这是高压柴油泵的速度特性。这种特性对工况多变的车用柴油机是非常不利的，因此，在车用柴油机中会安装全速调速器。

全速调速器的作用有：

- ① 限制最高转速。
- ② 稳定最低空转转速。
- ③ 当外部阻力变化时，自动调节喷油量，使发动机转速变化较小，从而稳定工作。

某自行火炮装备的 12150 系列发动机全速调速器由调速器体、调速器盖、加油拉臂及轴、高低速弹簧及弹簧拉臂、调速器杠杆、调整拉杆、调速器托盘、离心弹子、花盘、活动盘、推力球轴承、活动盘衬套及顶盖等组成（图 7-2-19）。

调速器体固定在高压柴油泵后端，其左侧有安装加油拉臂轴的安装孔及凸台。凸台上有两个限制螺钉，上面一个的作用是限制停止供油，下面一个的作用是限制最大供油量，从而限制最大速度。

锥形调速器托盘装在调速器体上，内凹的锥面与离心弹子接触，它与固定在高压柴油泵凸轮轴上的花盘一起约束离心弹子的运动方向。

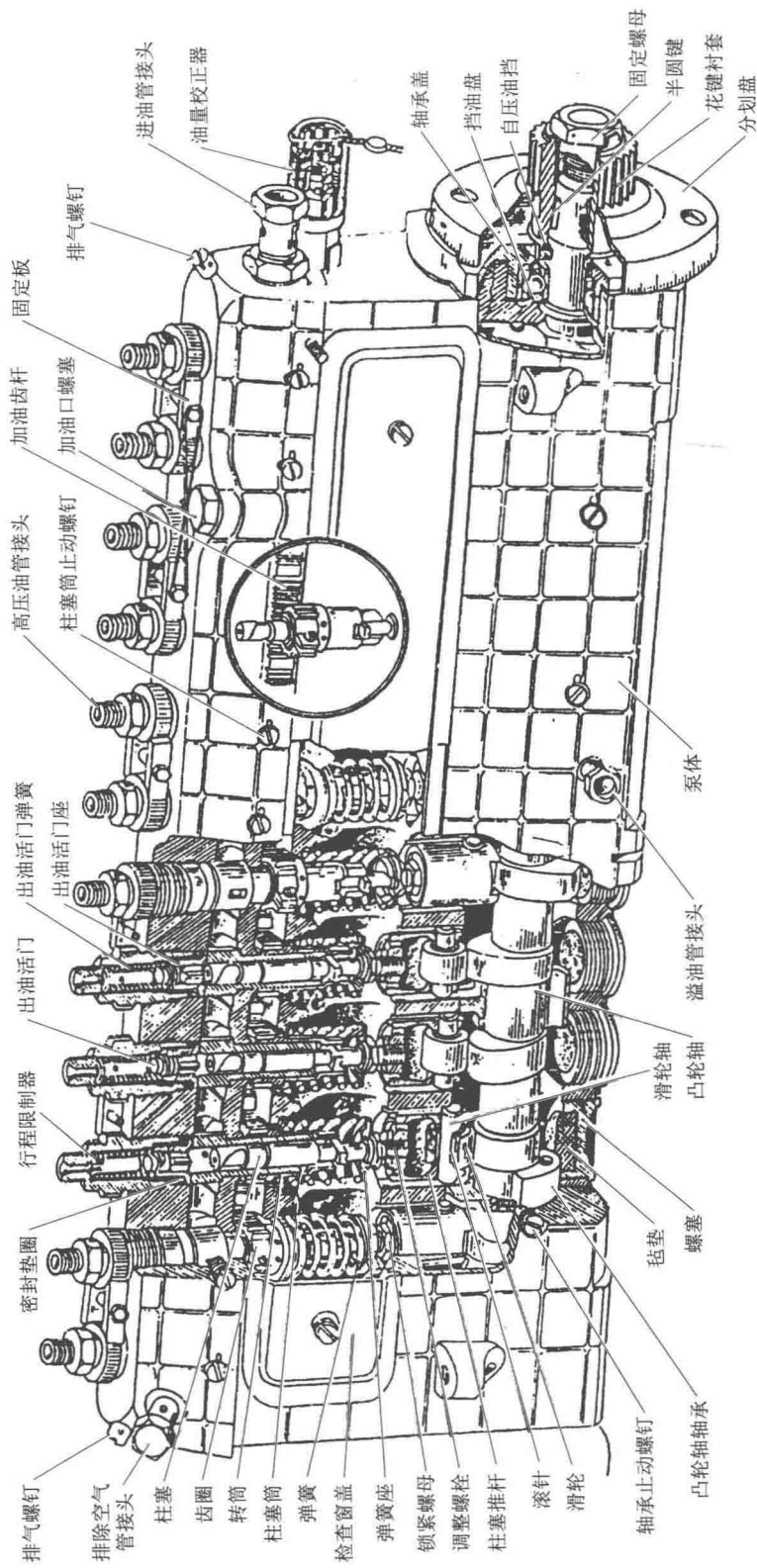


图 7-2-14 高压柴油泵

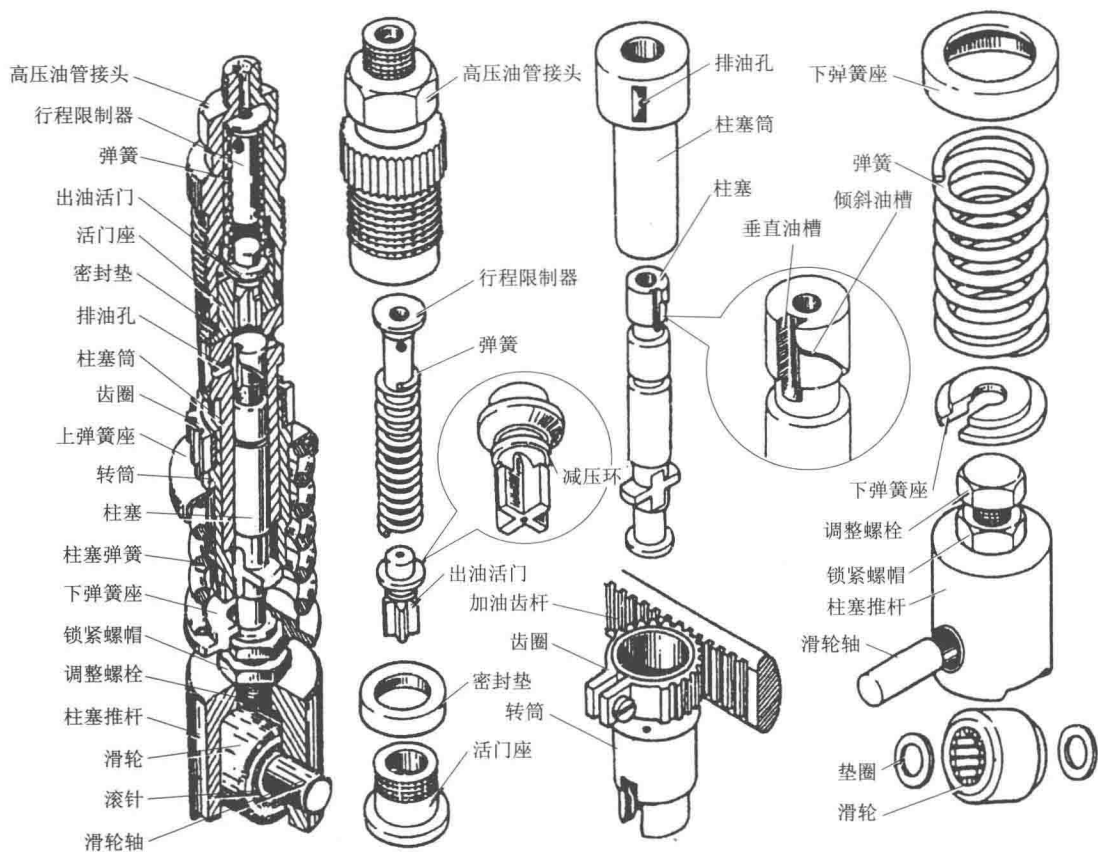


图 7-2-15 供油组

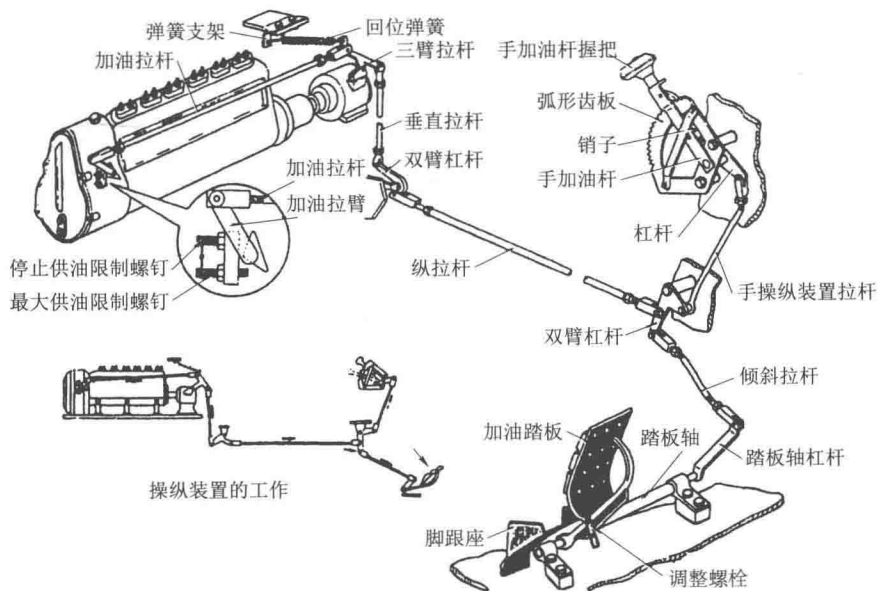


图 7-2-16 高压油泵操纵装置

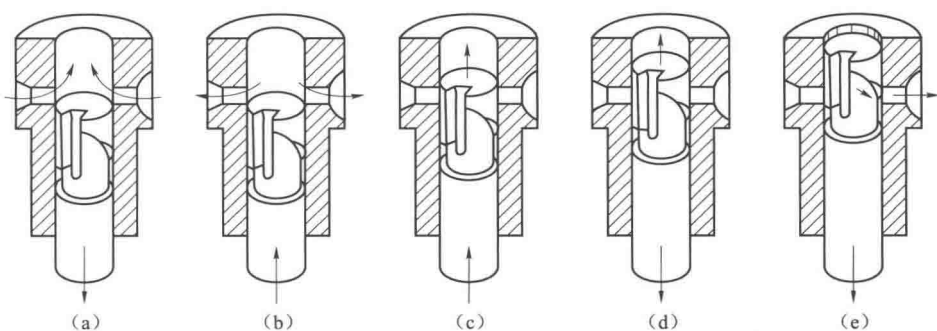


图 7-2-17 泵油过程

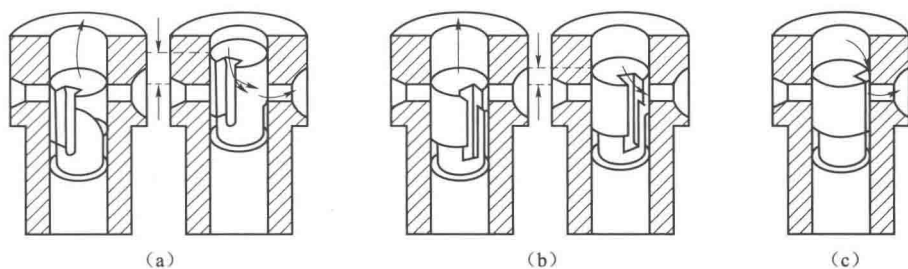


图 7-2-18 供油量的调节

(a) 最大供油量；(b) 部分供油量；(c) 停止供油

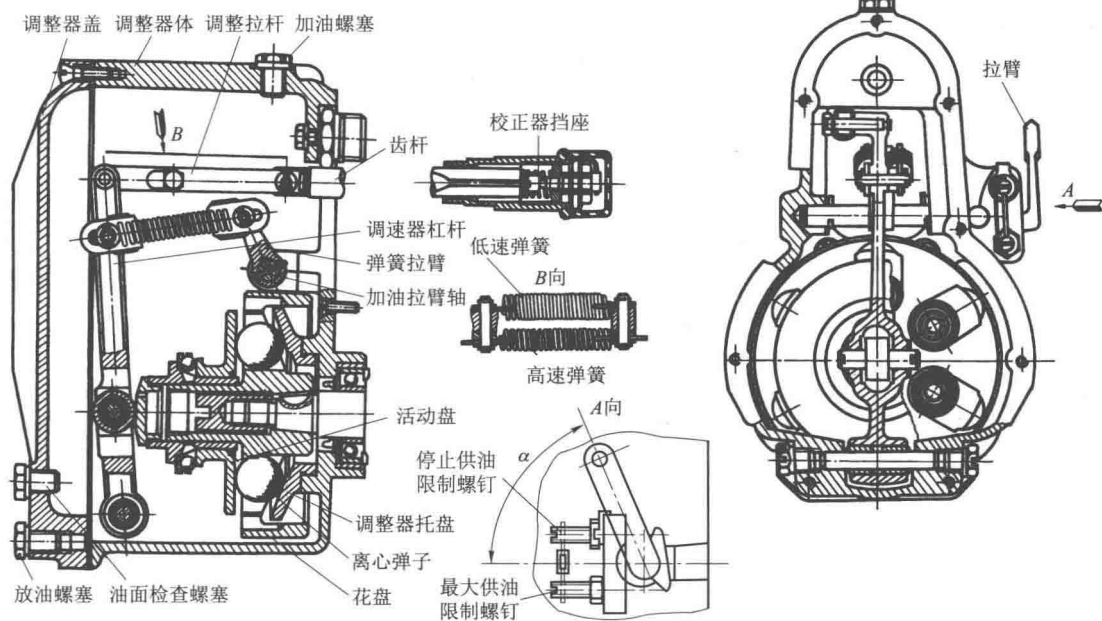


图 7-2-19 全速调速器

离心弹子的左端是活动盘，活动盘通过衬套套在花盘鼓上，右端装着推力球轴承。

顶盖装在活动盘的衬套内孔上，右边顶着推力轴承，左边顶着传动杠杆的滑轮。

调速器杠杆的下端用轴支承在调速器体上，中部有与顶盖接触的带滚针的滑轮，上部有两个销子，一个通过调整拉杆与加油齿杆连接，另一个上面挂有高、低速弹簧。

高、低速弹簧两端有挂耳，低速弹簧的挂耳上有圆孔，高速弹簧的挂耳上有长孔。发动机低速工作时，只有低速弹簧起作用；发动机高速工作时，高、低速弹簧均起作用。高、低速弹簧一端连接传动杠杆，另一端连接弹簧拉臂。

弹簧拉臂通过半圆键、开口销与加油拉臂轴相连，加油拉臂轴转动时，弹簧拉臂便拉伸或放松调速器高、低速弹簧。

调速器工作过程如图 7-2-20 所示。

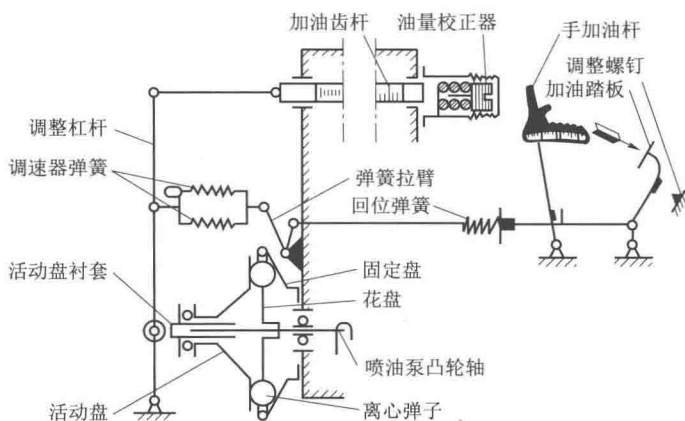


图 7-2-20 全速调速器工作示意图

发动机工作时，作用在调速器杠杆上的弹簧拉力和弹子推力是方向相反的两个力，弹簧的拉力使加油齿杆向加油方向移动；离心弹子的弹子推力使加油齿杆向减油方向移动。当这两个力对调速器杠杆下端支点的力矩大小相等时，加油齿杆就在某一位置上处于平衡状态，循环喷油量也就保持一定数量，发动机也就在某一转速下稳定地工作。

① 限制最高转速：发动机全负荷工作时，如果外界负荷突然急速下降，其转速就会迅速升高，弹子离心力迅速增大，加之此时加油踏板已经踏到底，加油齿杆移动很小的供油位移，而此时的供油量所产生的机械能仅够用于克服发动机的内部机械损失，发动机便在最高转速下工作。

② 稳定最低空转转速：加油踏板在最小位置时，若转速因某一因素升高，弹子的推力矩便增大，使齿杆向减油方向移动，抑制转速上升；如果转速因某一因素下降，弹子推力减小，在弹簧拉力作用下，齿杆向加油方向移动，阻止转速进一步下降，这样便保证了发动机最低空转转速的稳定。

③ 自动调节供油量：加油踏板位置不变，外部阻力发生变化时，调速器有三种工作状态（图 7-2-21）。

a. 稳定工作（图 7-2-21(a)）。坦克装甲车辆行驶的外部阻力一定时，弹簧的拉力矩与离心弹子离心推力矩平衡，此时调速器杠杆不动，加油齿杆不动，供油量一定，发动机转速处于暂时相对稳定工作状态。

b. 自动加油（图 7-2-21（b））。当坦克装甲车辆行驶的外部阻力增大时，发动机转速降低，高压柴油泵凸轮轴转速降低，弹子离心推力矩减小，加油齿杆向加油方向移动，全速调速器自动加油以阻止转速继续下降。弹簧拉力矩与弹子离心推力矩平衡时，自动加油停止，发动机在略低的转速下稳定工作。

c. 自动减油（图 7-2-21（c））。当坦克装甲车辆行驶的外部阻力减小时，发动机转速升高，高压柴油泵凸轮轴转速升高，弹子离心推力矩增大，加油齿杆向减油方向移动，全速调速器自动减油以阻止发动机转速继续升高。弹簧拉力矩与弹子推力矩平衡时，自动减油停止，发动机在略高的转速下稳定工作。

由于有调速器的存在，在踏板位置不变时，发动机可以随外部阻力的大小在一定范围内自动改变供油量，使发动机转速在一定的转速范围内自动变化，从而降低了驾驶员的操作强度，提高了坦克装甲车辆的平均行驶速度。

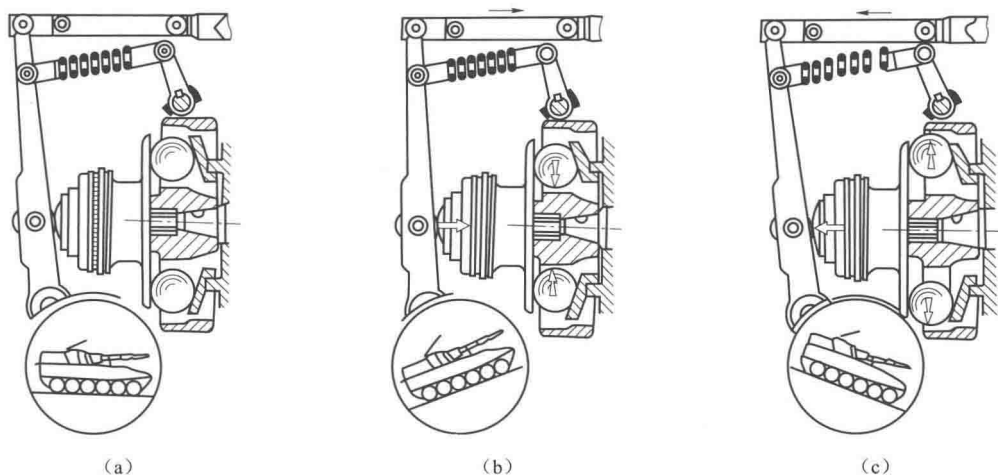


图 7-2-21 全速调速器工作

(a) 稳定工作；(b) 自动加油；(c) 自动减油

油量校正器的作用是：在加油踏板已踏到底、发动机输出最大功率的情况下，当外界阻力增大、发动机转速降低时，油量校正器与全速调速器配合，在一定范围内进一步增加供油量。

油量校正器安装在高压柴油泵前端加油齿杆端头部位，与加油齿杆在同一轴线上，由挡座、挡座套、弹簧、调整螺塞、校正器体和胶皮套组成（图 7-2-22）。其中，挡座铆调整螺塞上有挡座套，挡座套与调整螺塞之间安有弹簧。

油量校正器工作原理如下：

加油踏板未踏到底时，加油齿杆与挡座套不接触，油量校正器不工作。

当加油踏板踏到底，且发动机工作在最大功率时，加油齿杆与挡座套开始接触，校正器弹簧未被压缩，校正器体仍不工作（图 7-2-22（b））。若外界阻力增大，发动机转速降低，全速调速器离心弹子的推力减小，加油齿杆向加油方向移动，顶动挡座套，压缩弹簧，则供

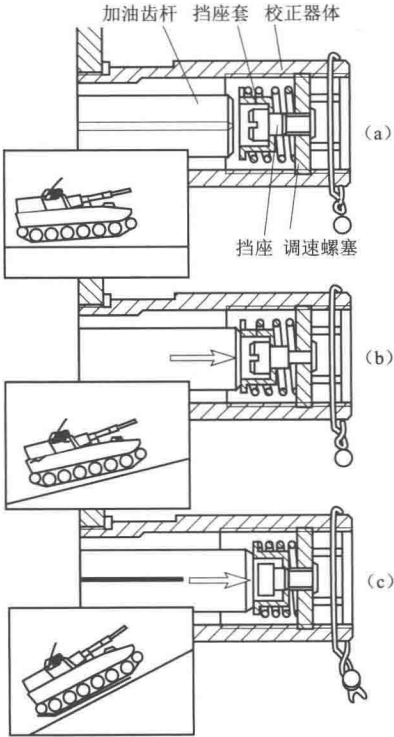


图 7-2-22 油量校正器

油量相应增多，发动机扭矩增大（图 7-2-22 (c)）。当发动机转速降低到最大扭矩转速时，加油齿杆被挡座挡住，供油量不再增加。

由于校正器弹簧的作用，挡座套只能逐渐被压缩，供油量也只能逐渐增加，从而防止了供油量突然增加过多而使燃烧恶化。

喷油器的作用是将来自喷油泵的高压燃油雾化，以均匀分布在燃烧室中并与空气形成混合气。为获得良好的可燃混合气，喷油嘴必须有一定的燃油喷射压力和一定的射程，喷孔数目、直径和方向必须与燃烧室的形状和空气流动状况匹配。

3. 排气系

(1) 功用

排气系有两项功用：一项是将发动机燃烧废气排出车外；另一项是把空气滤清器集尘箱中尘土和贮油井中的废油排出车外。

(2) 构造

排气系构造如图 7-2-23 所示，由排气管、波纹管 and 废气抽尘器组成。

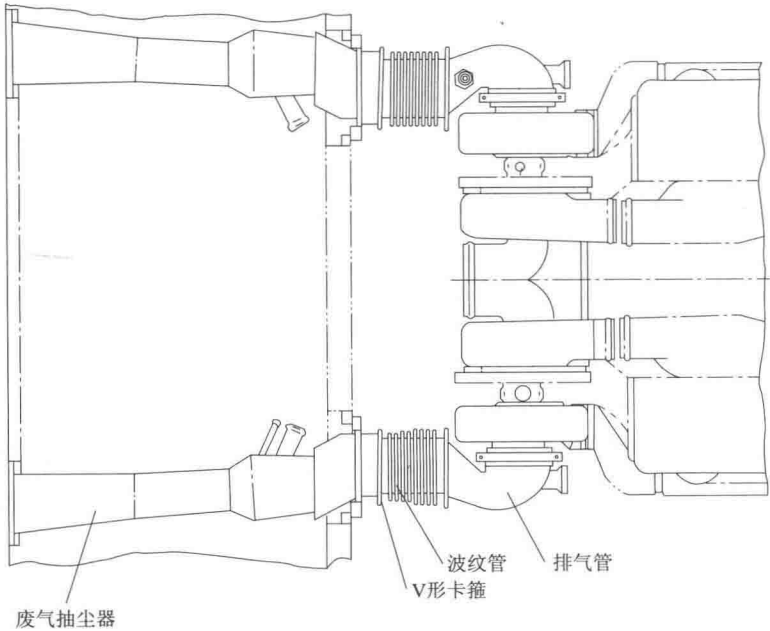


图 7-2-23 排气系简图

废气抽尘器有两个，分别焊接在右翼子板空气滤清器室两侧，它由喷管、空气室、混合室、扩散管、抽尘管等组成。

(3) 工作

发动机工作时，废气涡轮增压器排出的废气进入车内排气管，再经抽尘器的锥形喷管喷出。废气流经喷管时流速增大，高速气流使空气室内产生低压，从而将空气滤清器集尘箱内的含尘空气及贮油井中的废油经抽尘管吸出，再经排气管的空气室、扩散管排出车外。

(五) 润滑系

(1) 功用

润滑系的作用是利用滤清后的循环压力机油，来润滑、冷却发动机各运动摩擦表面，并带走磨削物和热量，从而防止机件产生锈蚀。发动机的润滑系统采用压力与飞溅混合润滑的工作方式。

(2) 构造

润滑系由机油箱及泵、电动机油泵、机油滤清器及散热器、分油盖、调温活门、油温表和油压表等组成（图 7-2-24）。

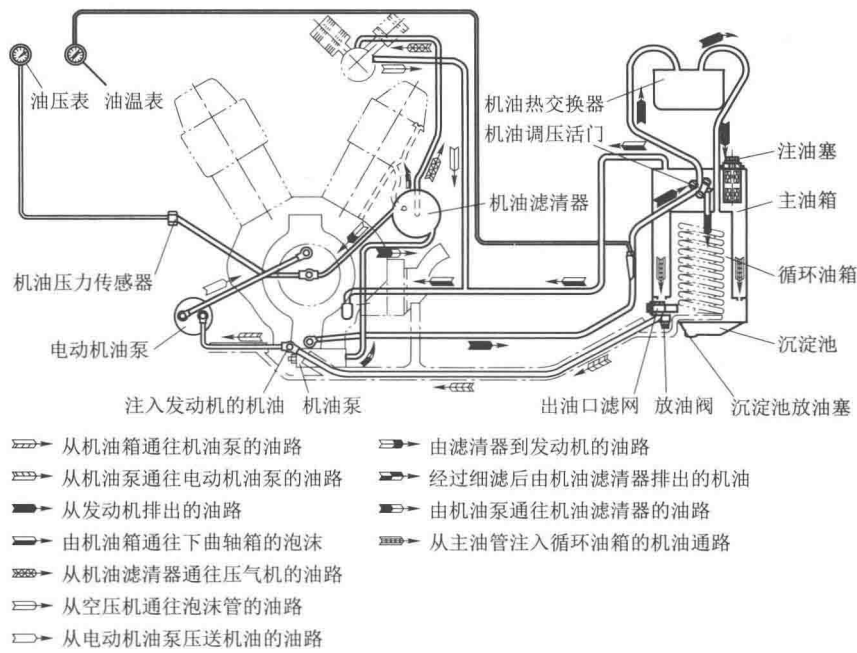


图 7-2-24 润滑系简图

机油箱用于贮存机油。不同的装甲车辆中机油箱固定的位置会有所不同。机油箱由主油箱和循环油箱组成。

机油泵装在下曲轴箱底部前端孔内，用来在发动机工作时将机油送至各摩擦表面进行润滑，润滑后再从下曲轴箱抽回油箱中进行循环工作。

电动机油泵装在发动机内，用于在发动机启动前将机油输送至发动机各润滑点及增压器处，以避免启动时零件间的干摩擦。

调温活门在机油温度变化时，自动变换机油回路，以保护机油散热器。当油温正常时，活门关闭，热油经散热器回油箱；油温过低时，油液变稠，经过散热器的阻力增大，因而管路中压力增高。当超过 294~392 kPa 时，机油顶开活门直接回油箱。

(六) 启动系

启动系用来克服发动机各运转零件的摩擦阻力和压缩气体的阻力,使曲轴有一定的转速以转入正常工作。发动机的启动有电启动和空气启动两种方式。

1. 空气启动系

空气启动系由空气压缩机、油水分离器、电控阀、空气滤、自动调压器、沉淀池及手动开关、高压空气瓶、高压空气管、空气分配器、空气启动活门、引射器、吹洗管及水箱等组成（图 7-2-25）。

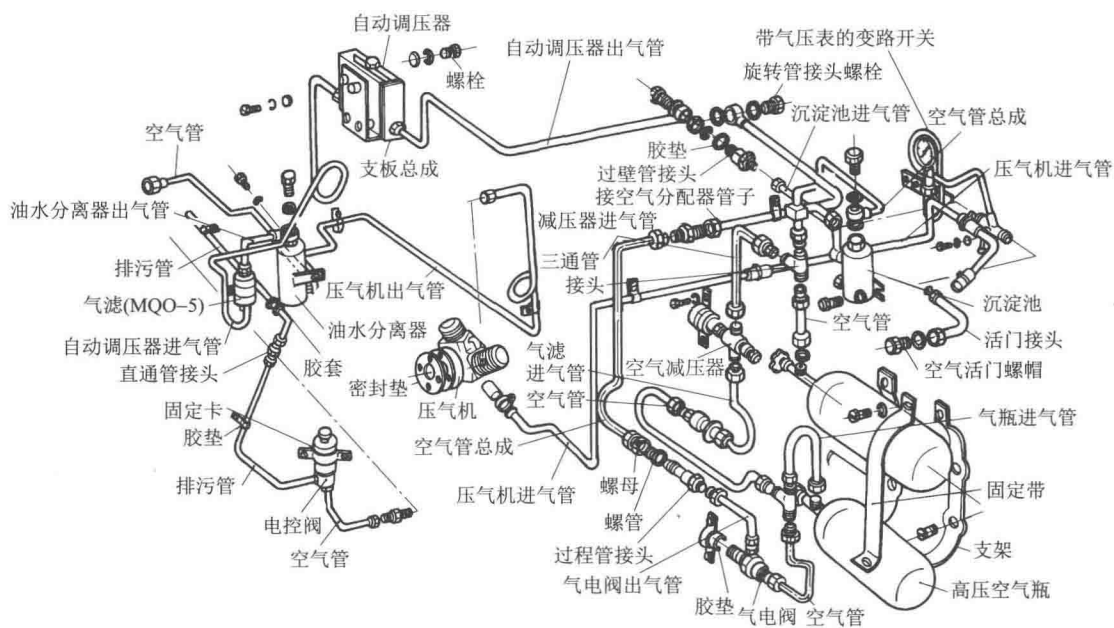


图 7-2-25 空气启动系

空气压缩机用来在发动机工作时向高压空气瓶灌注压缩空气。

油水分离器用来滤除压缩空气中的机械杂质、油和水分。

自动调压器能够自动调节进入高压空气瓶的空气压力。

空气分配器按气缸的工作顺序将高压空气适时地分配到各气缸。某主战坦克空气分配器固定在高压柴油泵及空气分配器联动齿轮箱上。

当拧开一个高压空气瓶上的螺栓开关, 打开空气启动开关时, 高压空气经空气分配器罩上的高压管进入空气分配器内腔, 经分气口所对正的孔道, 沿着高压空气管道流到空气启动活门, 进入相应的气缸 (图 7-2-26), 此时对应的气缸正处于做功行程, 高压空气推动活塞下行, 使曲轴旋转。

曲轴带动联动机构工作,分气盘沿逆时针方向旋转,分气口隔 60° 的曲轴转角依次打开孔道,高压空气则按照气缸的工作顺序分配到各气缸,使曲轴连续旋转。

空气启动活门用于在高压空气启动发动机时，接通进入气缸的气路；在发动机工作时切断通路，以防气缸内的气体流入空气启动系。

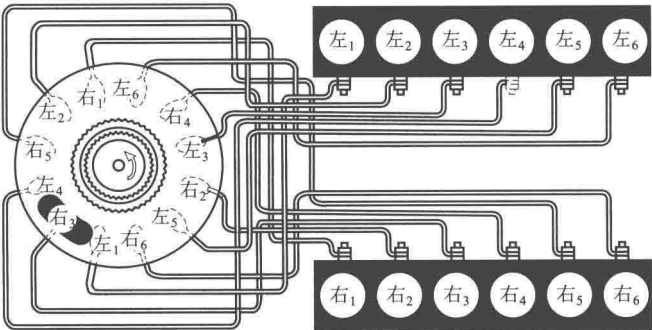


图 7-2-26 空气分配器进气顺序

2. 电启动系

电启动是用电能作为动力源，来驱动发动机的曲轴旋转，使发动机进入工作状态。
某型主战坦克用 12150 柴油机的电启动系由 QD24-15T 同轴式启动电动机、QKH-2 启动控制盒与 LLA4 启动按钮组成（图 7-2-27）。

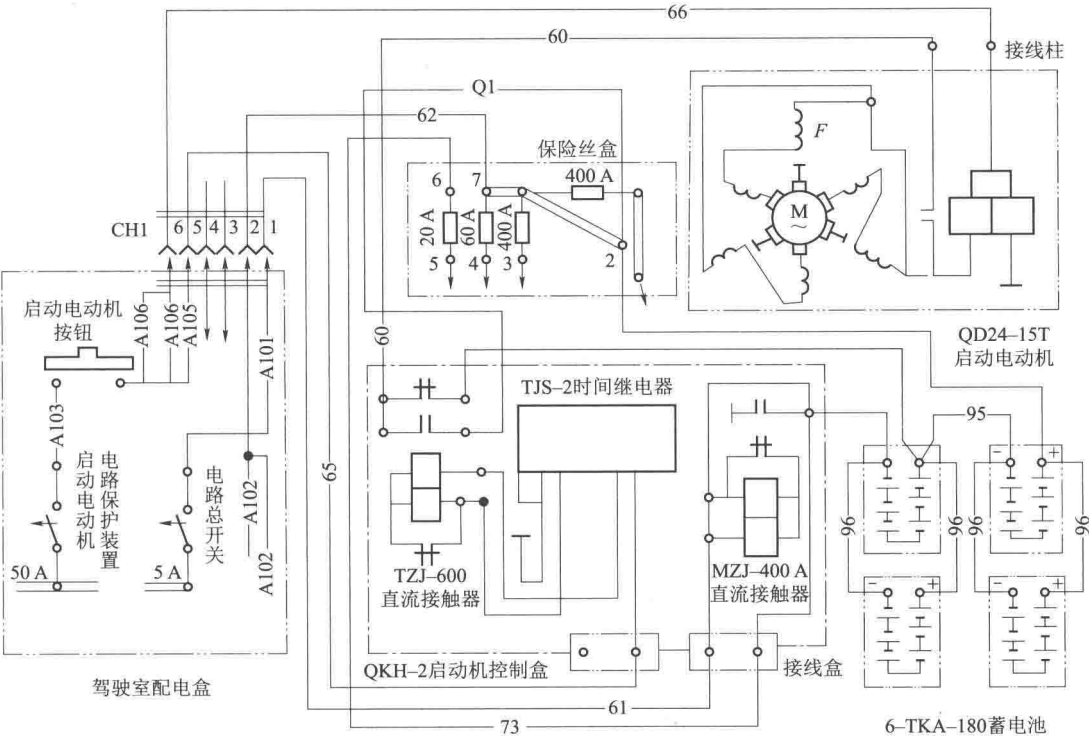


图 7-2-27 电启动系连接示意图

(1) QD24-15T 启动电动机

QD24-15T 启动电动机是一种将串激电动机、启动继电器和传动装置均配置在电枢上的同轴式启动电动机。电动机采用单线制工作方式，其负极与机体相连。
启动电动机结构如图 7-2-28 所示，由电动机、启动继电器和传动装置三部分组成。

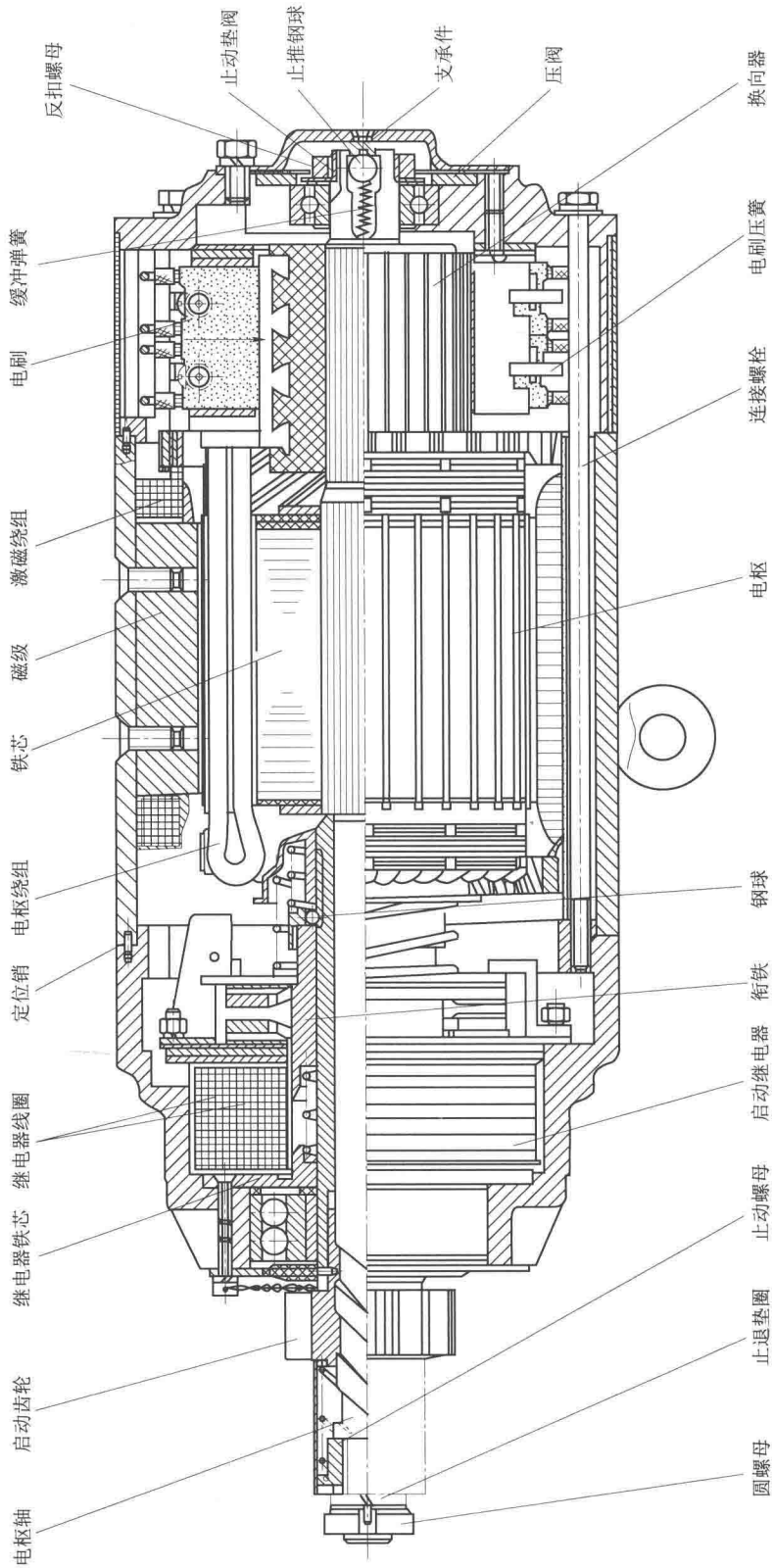


图 7-2-28 启动电动机

1) 电动机

电动机由定子、电枢、换向器、前后端盖等组成。

电动机定子由电动机体、磁极和激磁绕组等组成。电动机体内壁上装有六个激磁绕组与磁极，外有接线柱、吊环和定位槽等。

电枢由电枢绕组、铁芯和电枢轴等组成。

换向器由换向片盒绝缘云母片组成。

电动机后端盖内部装有轴承与电刷架，每个电刷架上有两个电刷与电刷压簧。负极电刷架与后端盖搭铁、正极电刷架与后端盖间用绝缘板隔开。为保证后端盖装上电动机体时，电刷架与磁极相对的角度准确，后端盖与电动机体用一个定位销定位。

2) 启动继电器

启动继电器用来接通或切断电动机电路，并带动传动装置，使启动齿轮与飞轮齿圈啮合。启动继电器由支架、挡圈、限位套、回位弹簧、继电器触点、衔铁及其回位弹簧、继电器铁芯与线圈组成。

3) 传动装置

传动装置用来在按下启动电动机按钮时，使启动齿轮迅速与飞轮齿圈平稳啮合，从而驱动曲轴旋转；在发动机成功启动后，迅速使启动齿轮脱离飞轮齿圈，自动切断发动机传给电动机的动力。传动装置装在电枢轴上，由传动机构和超速保护机构组成。

4) 启动电动机工作原理

按下启动按钮，蓄电池组分别向启动电动机控制盒中的 TJS-2 时间继电器和电动机供 12 V 电压（图 7-2-28、图 7-2-29）。继电器铁芯和衔铁被磁化，启动继电器向左移动而闭合；同时，传动装置中钢球推动齿轮衬套向左运动，带动启动齿轮沿着电枢轴上三线螺纹向飞轮齿圈方向一边旋转一边做轴向运动。启动继电器触点闭合后，蓄电池电源经直流接触器和继电器触点向电动机的电枢绕组和激磁绕组供电。因为蓄电池供电电压较低，电动机仅能够做低速运动。

顶齿：如果启动齿轮的轮齿没有和齿圈的齿槽对正而顶到齿圈端面，则启动齿轮停止轴向移动。电动机慢速转动，带动启动齿轮逐渐旋转而进入啮合位置。

进入啮合：启动齿轮进入啮合后停止旋转运动，仅做沿齿圈齿槽的轴向移动。

全部啮合：当二者全部啮合后，启动齿轮被止动螺母顶住而不能向前进。从按下启动按钮到启动齿轮与齿圈全部啮合，时间为 0.3 s。全部啮合后，时间继电器切断蓄电池 12 V 启动电路，接通蓄电池全部电压，电动机的电枢轴通过三线螺纹把转矩传给启动齿轮，并以全功率带动发动机转轴转动，从而完成发动机的电启动。

发动机转动：发动机曲轴旋转后，通过齿圈带动启动齿轮高速转动，齿圈从被动变为主动，这时作用在启动齿轮上力的方向反向，这个作用力迫使启动齿轮沿电枢轴的三线螺纹后退。松开电动机启动按钮，则电动机启动控制电路被切断，在回位弹簧力的作用下，启动齿轮也沿电枢轴三线螺纹退回原位。启动继电器的动触点与固定触点分离，启动电动机停止工作。

(2) 启动电动机控制盒

启动电动机控制盒的作用首先是控制和转换启动电动机的输入端电压，实现降压启动；其次是接通或切断蓄电池组负极板电路，代替手动总开关。

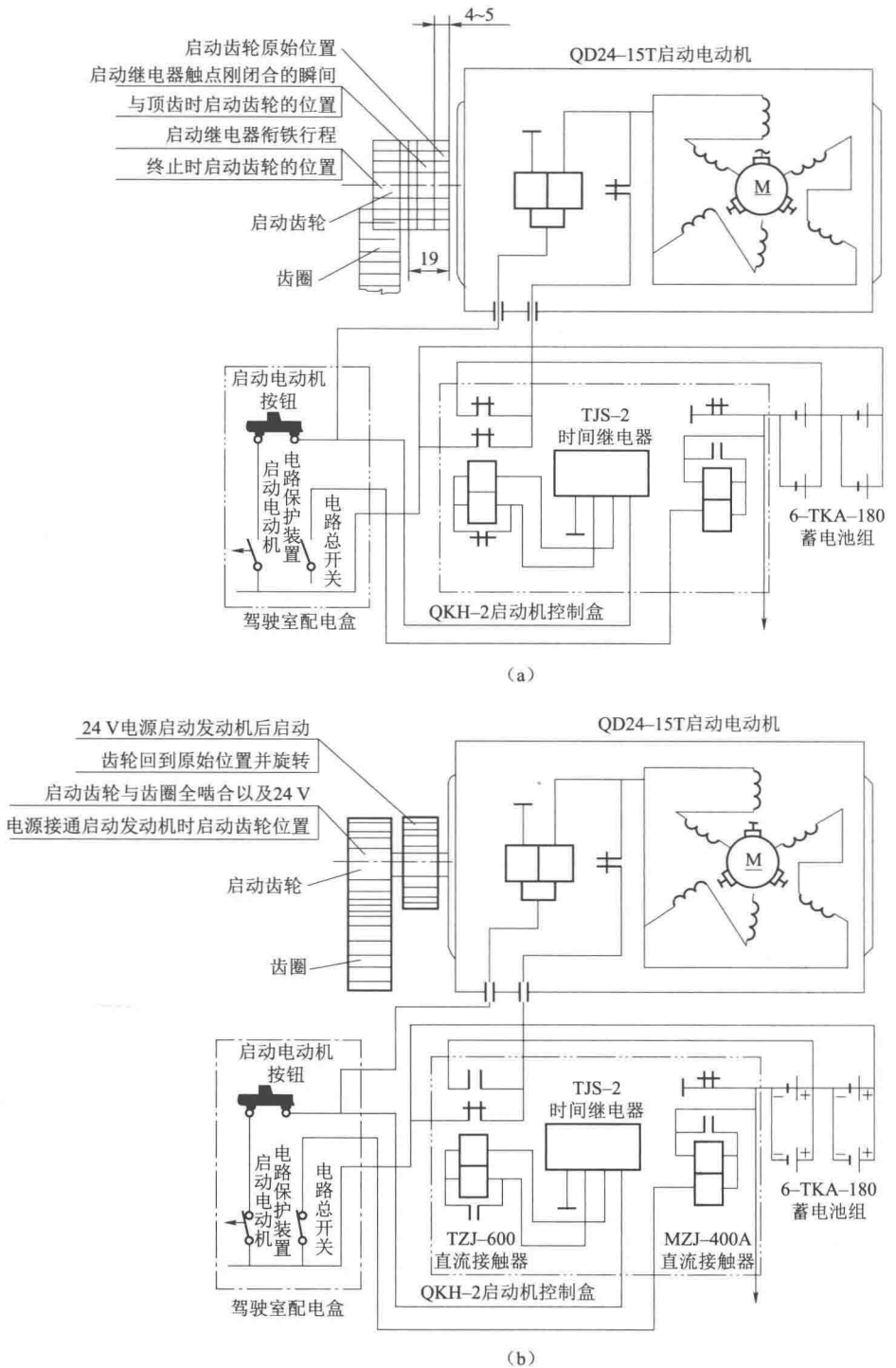


图 7-2-29 电启动工作原理

- (a) 启动继电器触点刚闭合的瞬间——启动齿轮与齿圈全部啮合前；
(b) 启动齿轮与齿圈全部啮合时——发动机发动后（启动电动机按钮未松开）

(七) 冷却加温系

1. 功用

顾名思义，冷却系的作用就是降低发动机高温机件的温度，使其能在允许范围内持续工作；加温系的作用是在冬季时，通过加温冷却液来加热机油和发动机本体。

2. 构造

冷却加温系由空气冷却部分、液体冷却部分和加温部分组成（图 7-2-30）。

液体冷却部分由加水口盖、水散热器、水泵、防水开关及管道组成。

空气冷却部分由风扇、进气与进气百叶窗及风道组成。

加温部分由加温器、接通开关和蛇形水管组成。

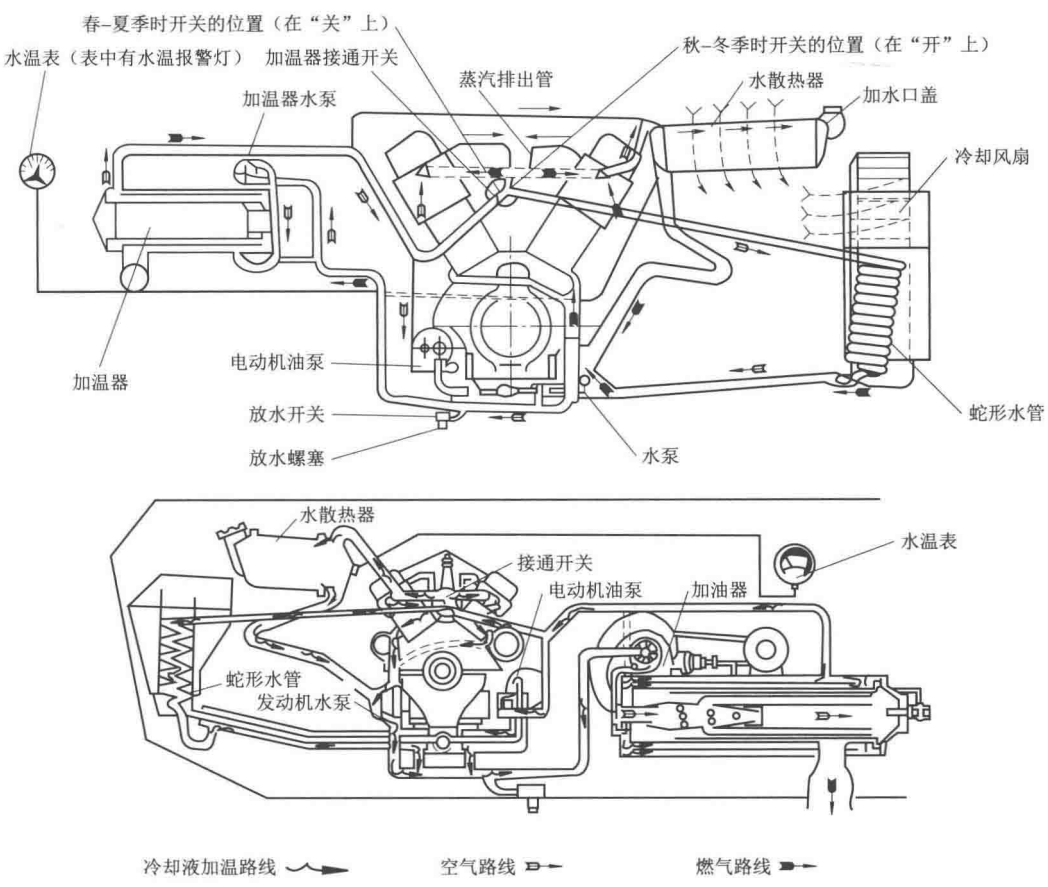


图 7-2-30 加温系

3. 冷却加温系的工作

(1) 冷却系的一般工作情况

发动机工作时，联动机构带动水泵旋转，从而把水散热器中的冷却液输送到气缸水套内，冷却液吸收气缸壁、气缸盖的部分热量后又流回水散热器，把一部分热量散到大气中。水泵和风扇不停工作，冷却液就不断地吸收发动机工作时的多余热量。冷却液的循环路线如图 7-2-31 所示。

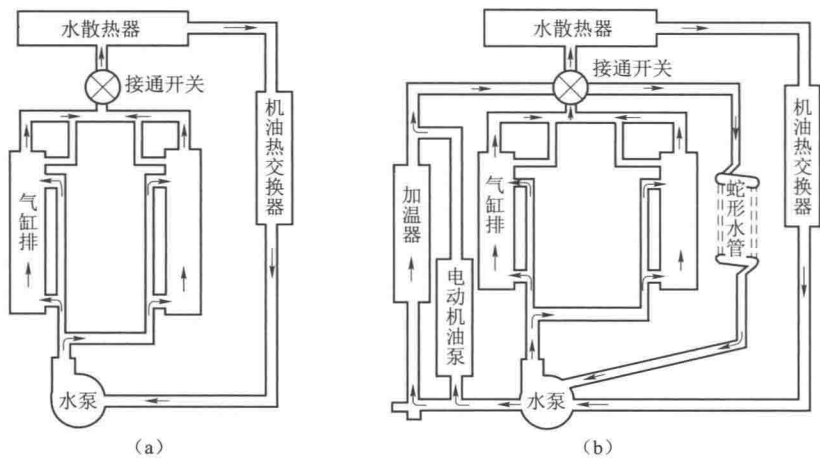


图 7-2-31 冷却液的循环路线

(2) 冬季冷却加温系冷却液的循环

冬季时接通开关应打开，冷却液循环部分与加温部分接通，两者称为一个循环系统，循环线路如图 7-2-32 所示。

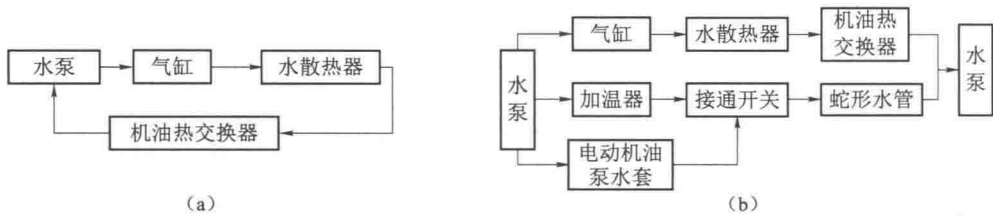


图 7-2-32 冷却液循环路线

(3) 发动机加温预热

工作时，打开电热塞开关将其烧红，打开电动机开关使电动机带动水泵、风扇和柴油泵工作。风扇将空气送入燃烧室，柴油泵将柴油压到喷油器，喷油器将柴油喷入燃烧室并与空气形成混合气，混合气被电热塞点燃。燃烧的火焰喷向加热管和加温器内壁，加热冷却液。水泵将加热后的冷却液泵至发动机水道、水散热器、电动机油泵水道、机油箱蛇形管，然后泵回加温器。回到加温器的冷却液再次被加温泵出，如此重复，冷却液和机油温度不断升高（图 7-2-33）。

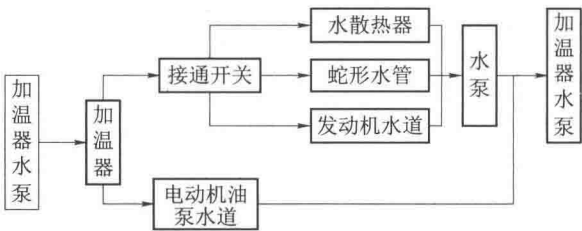


图 7-2-33 加温系冷却液路线

(4) 空气冷却部分的工作

发动机工作时，风扇转动以驱动叶片间的空气流动。在离心力的作用下，风扇中心形成低压。空气从进气口吸入，经水散热器和传动装置吸收热量后，由风扇中心甩出，经出气口排出车外。

(八) 增压系

1. 功用

废气涡轮增压系是利用发动机排出的废气驱动涡轮，涡轮再驱动压气机，提高发动机进气压力，增大气缸进气量，再协调提高燃料喷入量，以提高发动机功率。

2. 构造

某主战坦克的废气涡轮增压器结构如图 7-2-34 所示，增压器分左、右两个，由压气机、涡轮和轴承体三部分组成。

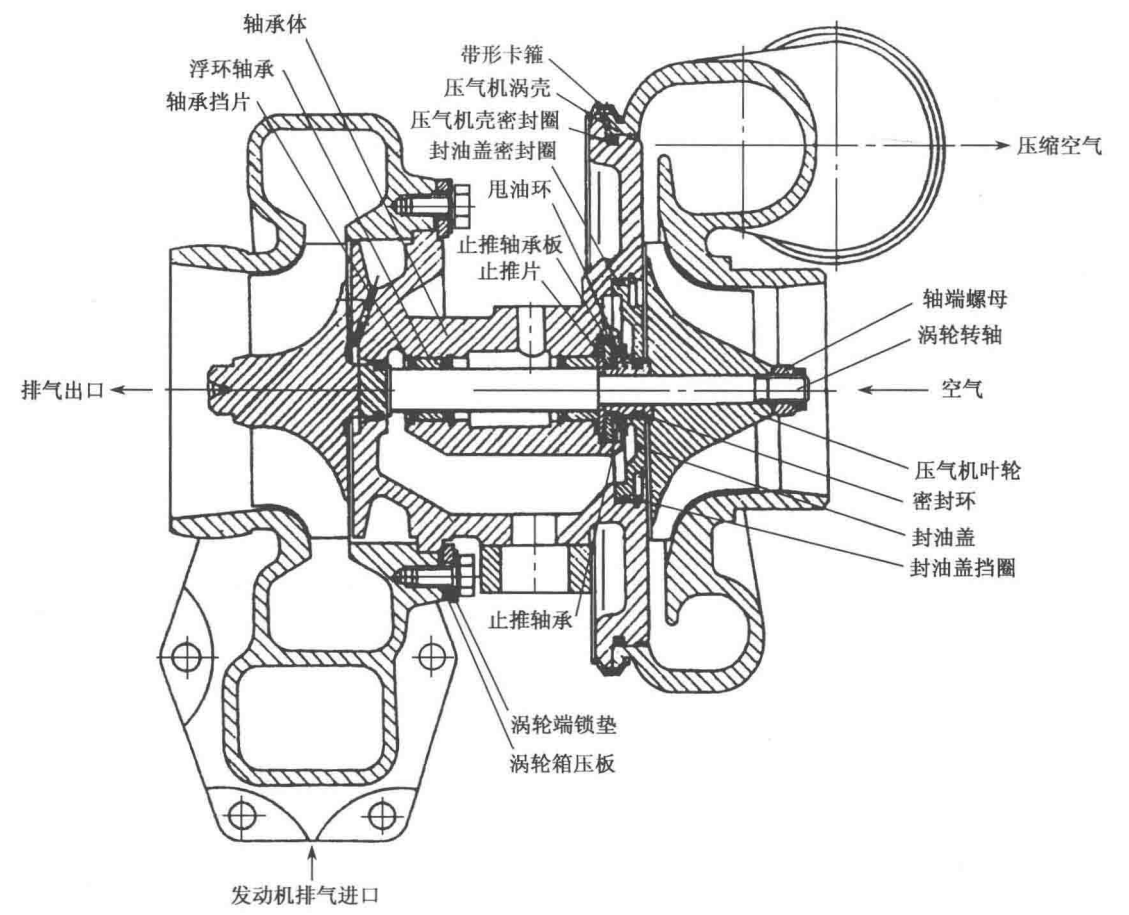


图 7-2-34 废气涡轮增压器

3. 工作原理

柴油发动机排气歧管排出的高温气体通过连接管路进入增压器无叶片箱内，再流过截面逐渐收缩的喷嘴环，在此过程中，气体压力、温度降低，流速升高，燃气中的一部分热能转变为动能，以一定的速度冲击到涡轮叶轮上，使涡轮高速转动。由于压气机叶片与涡轮同轴，所以压气机叶轮同样高速旋转，将吸入压气机涡轮壳的空气压缩后，送入柴油机的进气歧管，使得进入气缸内的空气量大增，这时再增加燃油喷入量后，就能大幅度提高发动机的功率。

三、柴油机的电子控制系统

目前，柴油机作为坦克装甲车辆的动力装备地位是不可撼动的。在未来的一段时间内，柴油机仍将占有极重要的地位。柴油机数量的不断增多也引起了人们对柴油机燃油经济性和排放性能的关注，因此人们也一直在致力于完善柴油机的性能，以期得到好的经济性、动力性及低排放。

提高柴油机动力性，实现低污染、低油耗的中心任务就是改善柴油机的燃烧过程，即保证组成燃烧过程的进气、喷油、燃烧三要素中的油、气良好混合，以及在不同工况下满足不同的燃烧和放热要求。其中喷油是最重要的因素。因此喷油系统的控制成为柴油机电控的核心。

柴油机电控燃油喷射系统的发展，根据其进展时间和工作原理可以分为位置控制式、时间控制式和时间-压力控制式三个阶段。

1. 位置控制式

位置控制式电控燃油喷射系统属于第一代直喷式柴油机电子控制燃油喷射系统，它最大限度地保留了原直列喷油泵和分配泵的基本结构，包括传统的喷油泵-高压油管-喷油嘴系统及控制油量的机械传动机构，只是对齿条或滑套的运动位置由原来的机械调速器控制改为电子调速器控制。喷油泵上装有齿杆传感器和凸轮轴相对曲轴的转角位移传感器，以及由线性和旋转电磁铁的执行器与微处理器组成的控制系统，分别对喷油量和喷油定时进行调节。喷油量的计量按位置控制方式，以柱塞的供油始点和供油终点间的物理长度，即有效行程确定。常用的执行器有线性电磁铁、电液控制阀和伺服电动机三类。图 7-2-35 所示为德国 Bosch 公司的电控直列泵，图 7-2-36 所示为日本 Zexel 公司研制的可变预行程式直列喷油泵。可变预行程是将原固定的柱塞套筒通过旋转电磁铁，使套筒能在小范围内上下移动，从而能选择喷油开始时间和喷油泵凸轮工作段的型线位置（图 7-2-36（b））。

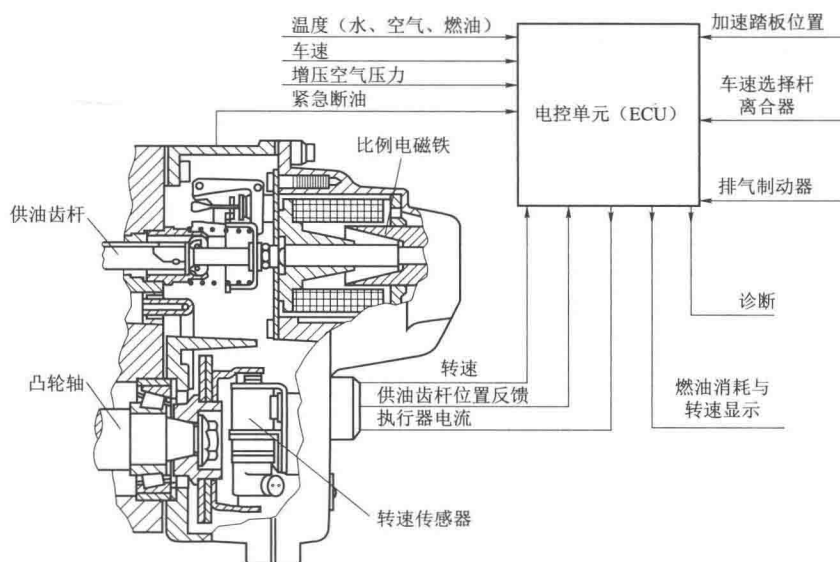


图 7-2-35 电控直列泵

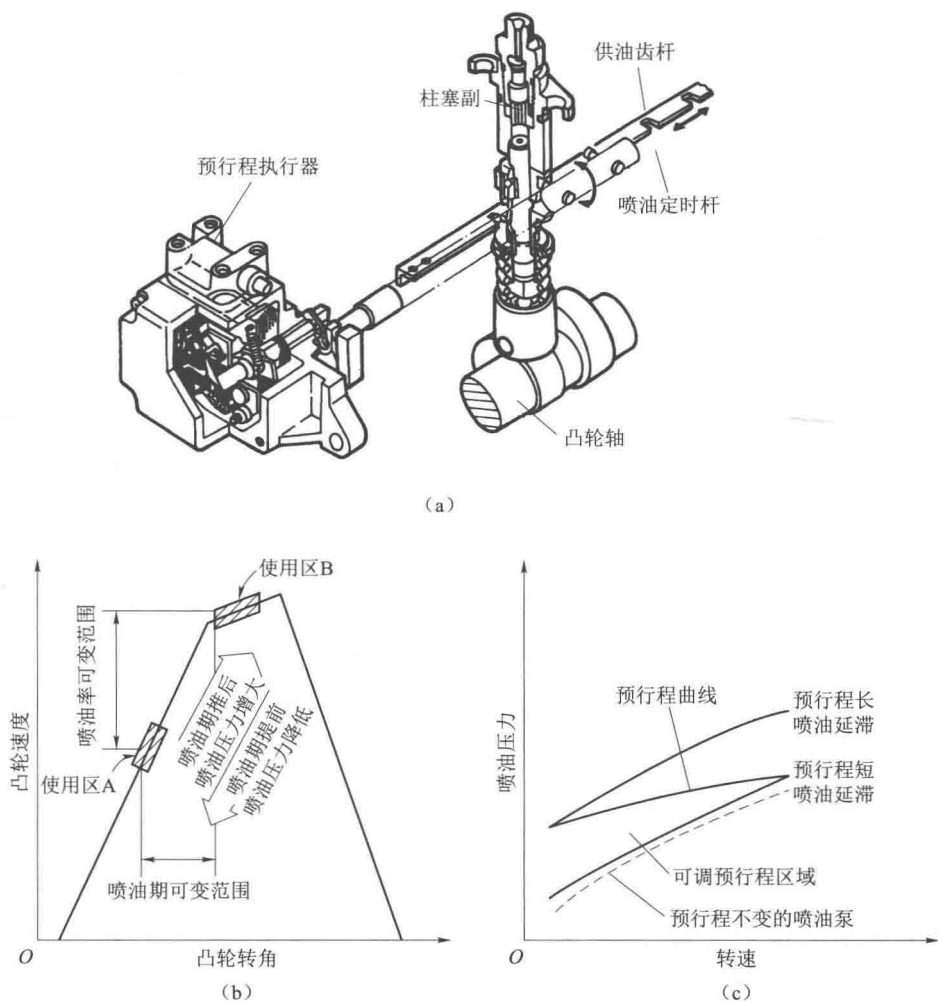


图 7-2-36 可变预行程式直列喷油泵

(a) 可变预行程控制机构；(b) 凸轮型线；(c) 控制特性

2. 时间控制式

时间控制式电控燃油喷射系统属于第二代直喷式柴油机电子控制燃油喷射系统，改变了传统机械喷油系统的工作原理和结构，它通过电子控制单元驱动高速电磁阀对喷油量和喷油正时进行控制，进一步提高了喷油系统与柴油机匹配的灵活性和适应能力。这种控制方式把调节机理直接引入喷油器中，将喷油量和喷油定时分开计量，喷油定时是由电磁阀通电时刻决定的，喷油量是由电磁阀通电持续时间决定的。喷油始点取决于电磁阀开启时刻，喷油量取决于电磁阀开启时间长短。目前该系统主要有时间控制电控系统、电控泵喷嘴系统和电控单缸泵系统三种类型。图 7-2-37 所示为电控泵喷嘴喷油系统，它取消了高压喷油装置中的高压长管，凸轮直接驱动与喷油器连在一起的柱塞产生高压，并由设在泵喷嘴油道中的高速强力电磁阀控制喷油定时。由于泵喷嘴无高压油管，喷射压力可达 100 MPa 以上，系统控制

灵活，可通过电磁阀的两次动作实现可控预喷射。

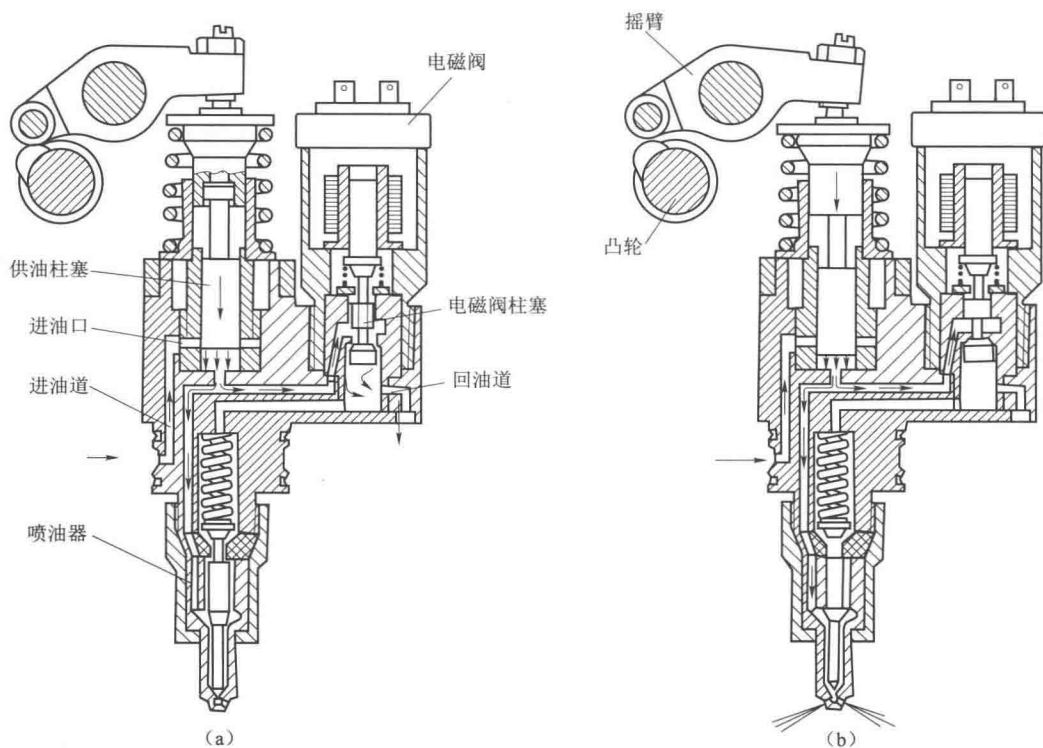


图 7-2-37 电控泵喷嘴

(a) 不喷油；(b) 喷油

3. 压力-时间控制式

压力-时间控制式电控燃油喷射系统，即共轨式燃油喷射系统，这种系统不再采用传统的柱塞泵脉动供油，液压泵的作用是为一个公共的蓄压室（共轨）建立压力。在喷油器上方有一个高速电磁开关阀，共轨中燃油经该阀进入喷油器，喷油量和喷油定时均由该电磁阀控制。根据柴油机负荷和转速要求将共轨中油压控制在预定值，实现反馈控制。高速电磁阀控制喷油器的开启，以实现每一次喷油控制。喷油压力、喷油量及喷油定时都可由 ECU 灵活控制，喷油速率也可通过对喷油器内部结构的特殊设计或者通过高速电磁阀的多次动作而自由选择。

图 7-2-38 所示是奔驰 OM611 柴油机上用的电控共轨喷油系统，它由燃油箱、低压输油泵、齿轮式高压泵（三缸）、压力调节阀、共轨、喷油器、电控单元等组成。

燃油箱中的低压输油泵输出约 0.2 MPa 的燃油，燃油经加热器、燃油滤清器、燃油切断开关进到高压泵的进口，在高压泵处被加压至 13.5 MPa，然后输入集油池（共轨）内。集油池中有一个压力调节阀和压力传感器，集油池（共轨）内的高压燃油分别进入喷油器中。

共轨喷油系统中的喷油器与传统的喷油器有所不同，其结构如图 7-2-39 所示。

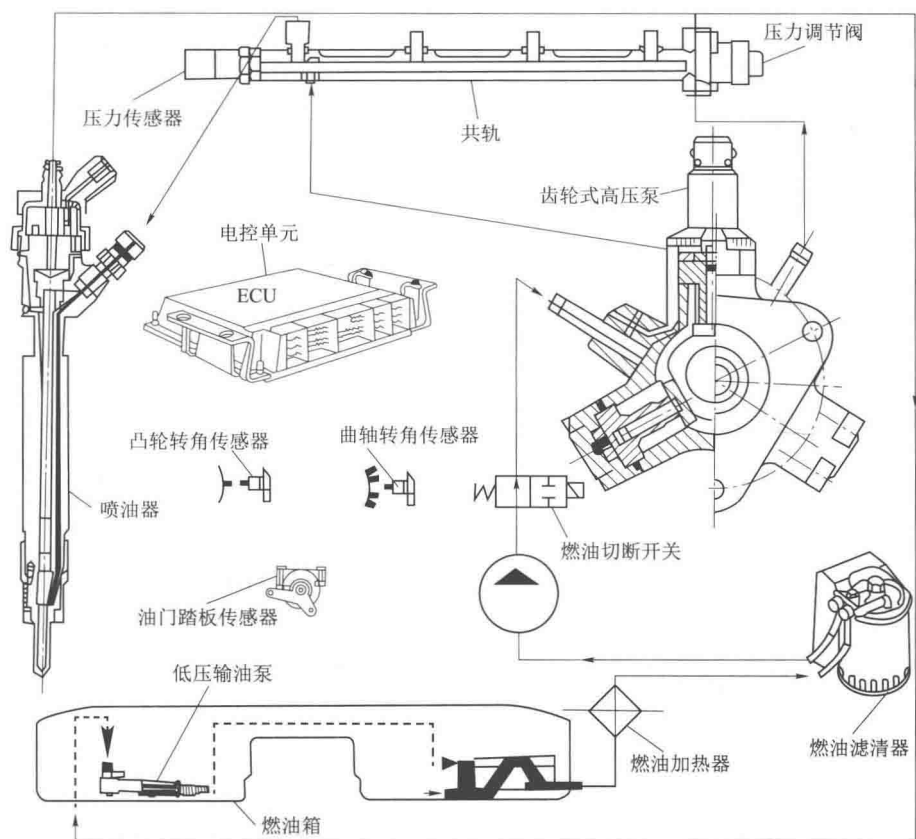


图 7-2-38 电控共轨喷油系统

共轨喷油器的工作原理如下：

集油池（共轨）压力直接作用在喷油嘴针阀和控制活塞的受力面上。由于控制活塞受力面大于针阀受力面，针阀处于关闭状态，而控制活塞是通过小孔 Z 与轨道相通，它感受轨道压力。当电磁阀线圈通电闭合时，电磁阀克服压紧弹簧，打开控制活塞上方的球阀。控制活塞上方的燃油可以通过 A 孔流出，作用在控制活塞上方的燃油压力低于共轨压力，因此针阀开启而喷油。相反，当电磁阀断电时，轨道压力又全部作用在控制活塞上，喷油嘴针阀关闭。喷油嘴弹簧不同于传统喷油器上的调压弹簧，它与喷射压力大小无关，只是在轨道中的燃油压力为 0 时防止缸内燃气窜入喷油器内。

共轨式燃油喷射系统可以分为高压共轨系统和 中压共轨系统，其中，中压共轨系统根据其产生共轨压力方式的不同，又可以分为共轨蓄压式电控燃油喷射系统和共轨液压式电控燃油喷射系统。

图 7-2-40 所示为共轨液压式喷油系统，其高压机灌（共轨）中不是燃油，而是压力在 4~23 MPa 的机油。机油压力由高压泵提供，并通过压力控制阀来调节。低压机油压力控制在 0.3 MPa 以内，低压燃油压力控制在 0.2 MPa。高压燃油是通过共轨中的高压机油作用到液压单体喷油器增压柱塞而产生的。

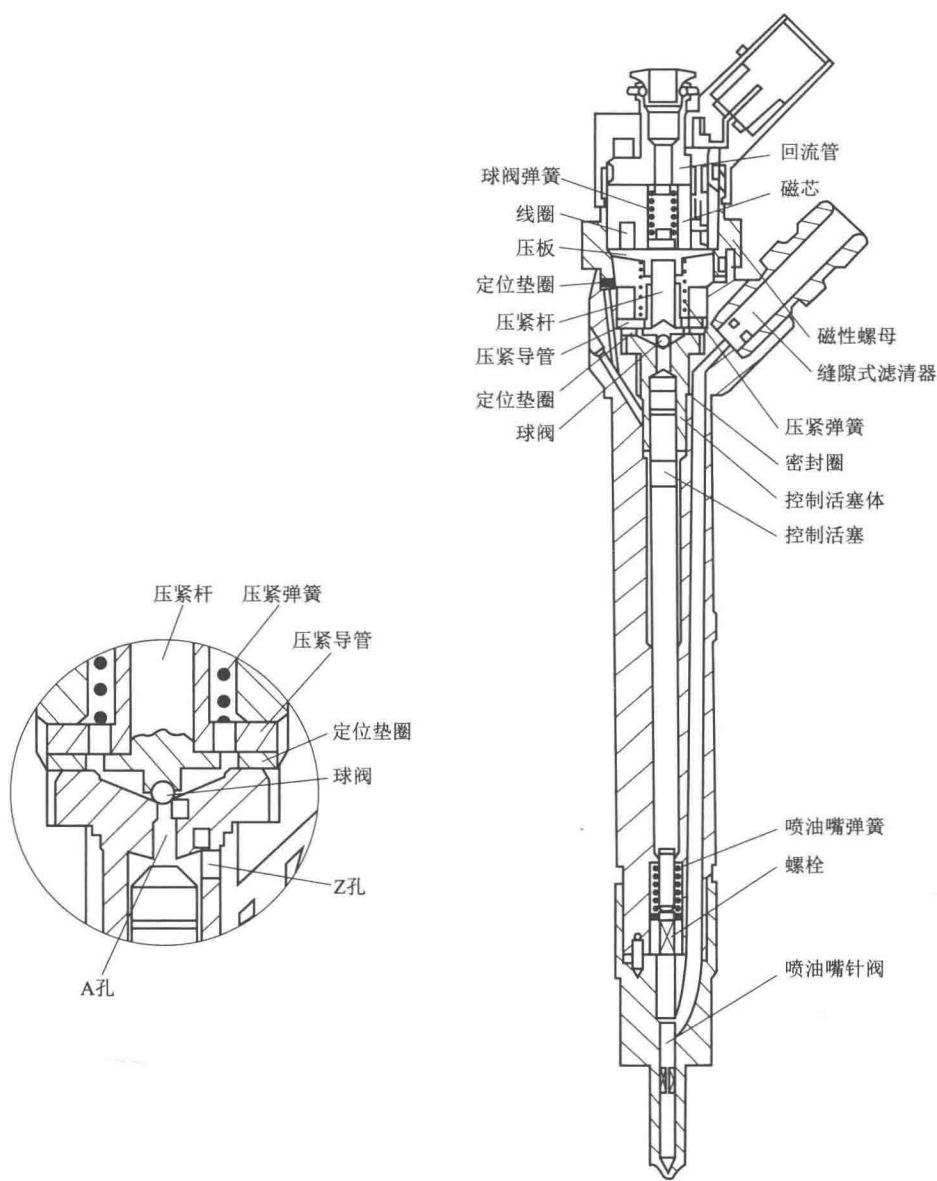


图 7-2-39 高压共轨喷油系统喷油器

液压单体喷油器由电磁控制阀、增压柱塞和套筒、喷油嘴等组成。电磁阀通电，提升阀向上运动，提升阀的上座合面关闭回油机油通道 B，下座合面打开高压机油通道 A，高压机油从 A 进入增压活塞的上部，推动活塞下移。这时充满增压柱塞下腔的燃油加压后克服调压弹簧并喷油嘴喷入气缸内。电磁阀断电，回位弹簧使提升阀回落，上座合面打开，下座合面关闭，喷油器内的高压机油经回油通道 B 流出，而不能经高压机油通道 A 进入喷油器。同时，增压活塞在回位弹簧作用下恢复到初始状态，喷油停止，燃油又从燃油进口通道 C 经单向阀进入增压活塞下腔内。

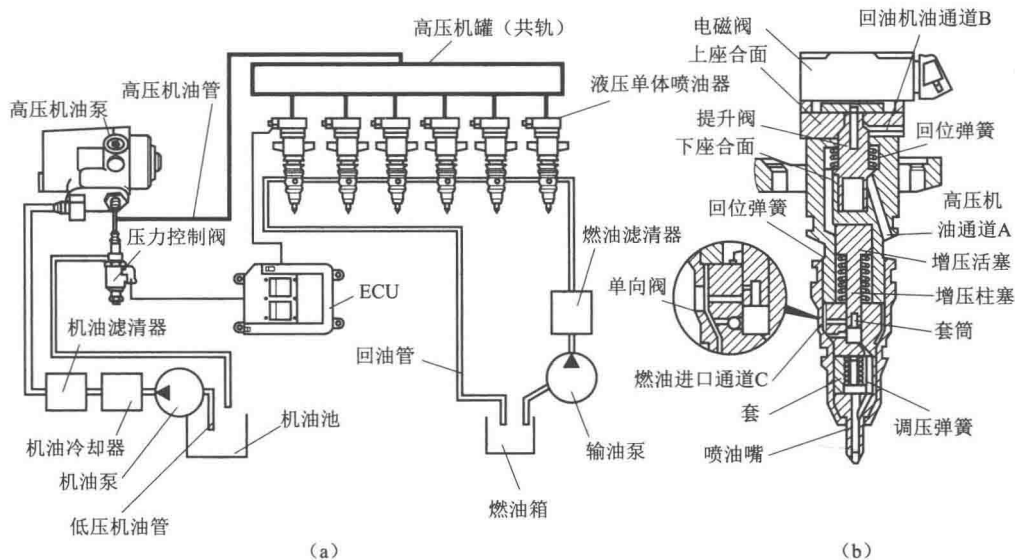


图 7-2-40 共轨液压式喷油系统

第三节 燃气轮机简介

燃气轮机是以连续流动的气体介质带动叶轮高速旋转，将燃料的能量转变为有用功的内燃式动力机械，是一种旋转叶轮式热力发动机。结构形式上，燃气轮机有单轴式、双轴式和三轴式三种结构形式。现代主战坦克所装备的是双轴式或三轴式燃气轮机。

(一) 单轴式燃气轮发动机

单轴式燃气轮发动机是燃气轮发动机中最简单的一种方案，主要由压气机、燃烧室、喷嘴环、涡轮和减速箱等组成（图 7-3-1）。

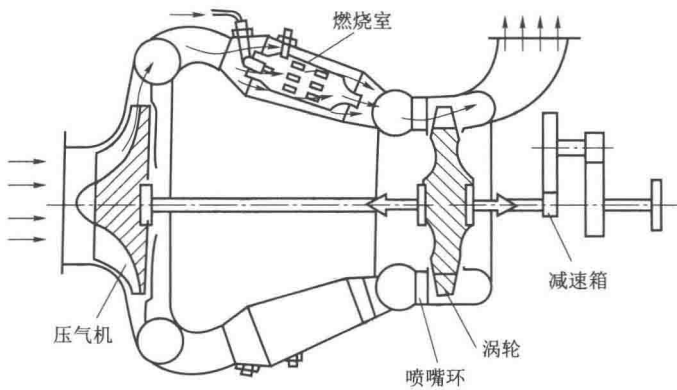


图 7-3-1 单轴式燃气轮发动机

压气机连续地从外界大气中吸入空气，并进行增压、升温，然后供向燃烧室。燃料由油

泵在一定压力下经过喷嘴喷入燃烧室并与高压空气混合，然后由电点火塞点燃，成为高温燃气。经第一次点火后，燃料便可连续不断地燃烧。燃气在等压下流入涡轮，驱动涡轮叶轮带着压气机叶轮一起旋转。

涡轮功率大部分消耗于驱动压气机，剩余部分为有效功率，经减速箱传给车辆驱动装置，压气机功率为有效功率的1.5~2倍。

单轴式燃气轮发动机只适用于驱动工况稳定的辅助装置，而不能用于驱动车辆。因为涡轮和压气机呈刚性连接，当车辆运动阻力增加时，发动机转速下降，压气机转速也随着下降，引起空气流量降低。为防止燃气超温，必须减少燃油供给，从而使发动机扭矩下降。但车辆行驶要求转速降低时，扭矩上升。

(二) 双轴式燃气轮发动机

双轴式燃气轮机的工作原理与单轴式的一样，区别在于双轴式燃气轮发动机的功率由单独的牵引涡轮输出，它和压气机涡轮无机械连接。因此，压气机的转速和空气流量与车辆的运动速度不直接相关，而是基本保持一定。牵引涡轮转速降低时，作用在叶片上的气流压力升高，所以发动机扭矩增加（图7-3-2）。

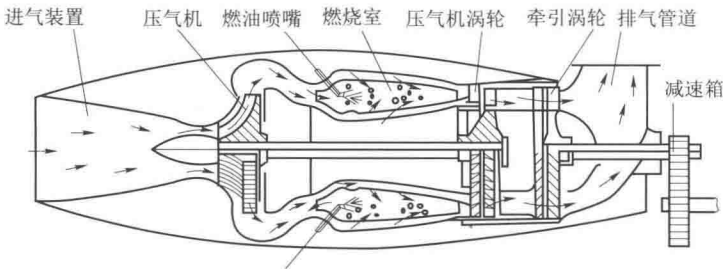


图 7-3-2 双轴式燃气轮发动机

双轴式燃气轮发动机的牵引性能适合于运输用车辆。

双轴式燃气轮发动机具有单位体积功率大、结构简单、质量小、适应性系数高、启动性好、工作平稳、振动小、能用多种燃料等优点，其最大的缺点是经济性差。

(三) 三轴式燃气轮发动机

图7-3-3所示为三轴式燃气轮发动机，外界新鲜空气经低压压气机压缩后进入冷却器冷却，之后压缩空气经高压空气压气机进一步提高压力，经过回热器加热后进入燃烧室。燃烧后的高温气体经过高压涡轮、动力涡轮、低压涡轮膨胀做功，膨胀后的较高温度的废气经回热器把进入燃烧室前的高压空气加热后排出机外。低压涡轮所做的功用于带动低压压气机，高压涡轮所做的功用于带动高压压气机，动力涡轮所做的功经减速器减速增扭后驱动车辆行走。

为进一步提高燃气轮机的功率，其结构上增加了一个补燃室。燃气轮机在工作时，在补燃室里再补充喷射一部分燃油燃烧，来提高进入动力涡轮的燃气温度，以增大动力涡轮的输出功率。

回热器的作用是利用从涡轮排出较高温度的废气来给进入燃烧室的空气加热，在减少燃烧室中燃料量的情况下，达到燃气轮机的输出功率值，降低燃气轮机的燃油消耗率。

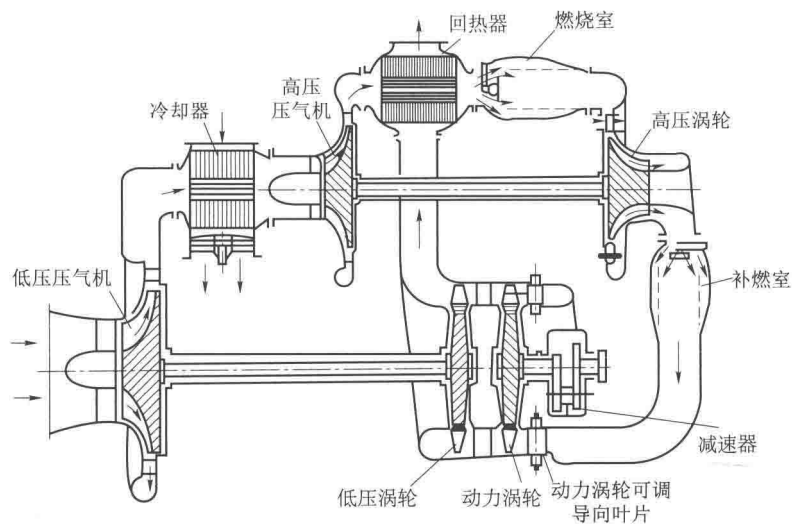


图 7-3-3 三轴式燃气轮机

冷却器的作用是冷却进入高压压气机的空气，使空气密度增大，降低带动高压压气机功率，提高燃气轮机的有效功率。

第八章

传动系统

第一节 传动概述

坦克装甲车辆在各种复杂的地形上行驶时，速度和牵引力的变化是很大的，行驶阻力的变化范围一般在十几倍，行驶速度的变化范围也在十几倍。现代坦克装甲车辆发动机的最大输出扭矩与额定功率时的输出扭矩之比为 $1.05 \sim 2.5$ ，额定功率下最高工作转速与最低工作转速之比为 $3 \sim 5$ 倍。因此，在发动机和驱动轮之间必须采用传动装置，以解决转速与转矩及驱动力与速度的匹配。另外，车辆的启动、起步、转向、倒车、空挡等也需要传动装置提供相应的功能。

一、功用与装置

简单来说，坦克装甲车辆的传动装置是实现车辆各种行驶及使用状态的装置。

履带或装甲车辆的传动装置主要包括完成上述功能的主离合器、变速箱、转向机构、制动器、侧传动等装置，轮式车辆的转向与履带车辆不同，其功能部件是差速器。

传动装置的主要作用有：

- ① 将发动机发出的功率传递到行驶装置；
- ② 根据行驶地面条件来改变牵引力和行驶速度，这部分工作主要由变速箱完成；
- ③ 完成转向的动作和提供转向时所需要的功率，履带式车辆主要由行星转向机、转向离合器、双流传动机构等完成，轮式车辆则由差速器来完成；
- ④ 使坦克装甲车辆具有空载启动、直线行驶、左右转向、倒向行驶、坡道驻车及随时切断动力等功能；
- ⑤ 传动装置也可以输出一部分功率去拖动空气压缩机、冷却风扇、水上推进器、各种用途油泵等辅助设备。

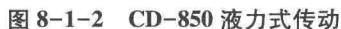
二、要求

对于坦克装甲车辆用传动装置，应该能够达到以下要求：

- ① 车辆速度可以在起步值到最高值之间连续变化；
- ② 传动装置应与发动机特性良好匹配，充分利用发动机的特性；
- ③ 应具备起步、连续加速、制动、停车、倒驶及随时切断动力的功能；
- ④ 具有较高的车辆平均行驶速度和传动效率；



传动寿命。这种传动形式的缺点是液力传动效率低, 加上散热消耗功率, 因而总传动效率低。如图 8-1-2 所示的传动就是液力式传动。



液力机械式传动装置是指液力元件仅传递部分功率，其余功率由机械机构、液压机构单独或联合传递的传动装置，如图 8-1-3 所示。由于液力元件仅传递部分功率，故这种传动

形式损失的功率较液力式的少，传动效率比液力式的高。但是由于变矩器串在传动链中，车辆转向半径因变速分流功率受变矩器影响而变得不稳定。

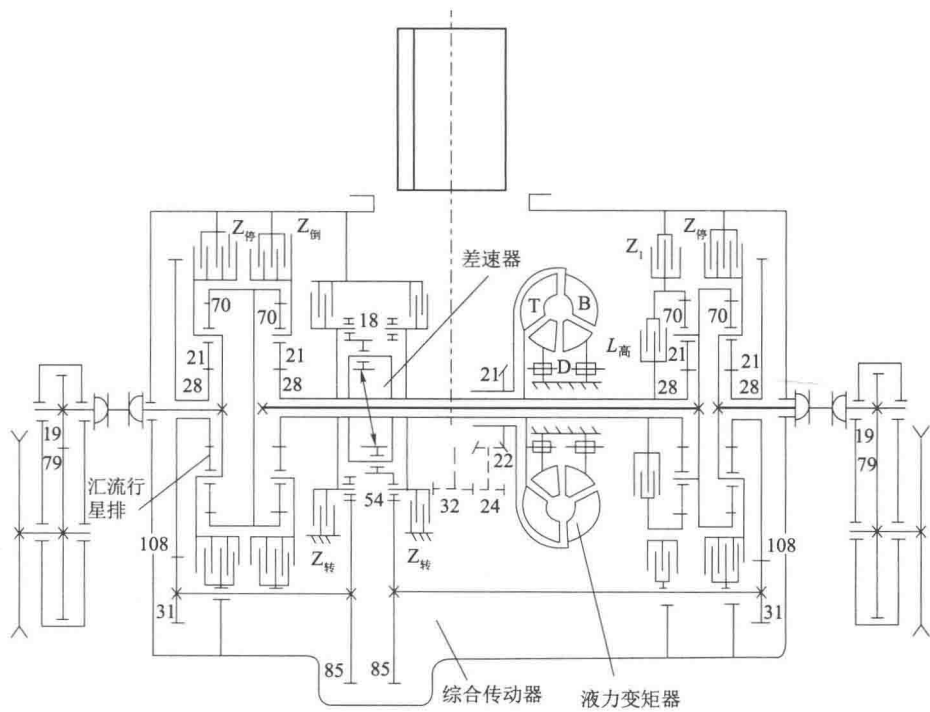


图 8-1-3 CD-850 液力机械式传动

(4) 液压机械式

在这种传动形式中，发动机的功率分别经液压元件和机械机构进行传递，如图 8-1-4 所示。液压泵和液压马达可以实现无级传递动力，提高了车辆的机动性能。当液压功率和机械分配合理时，可以获得较高的传动效率。

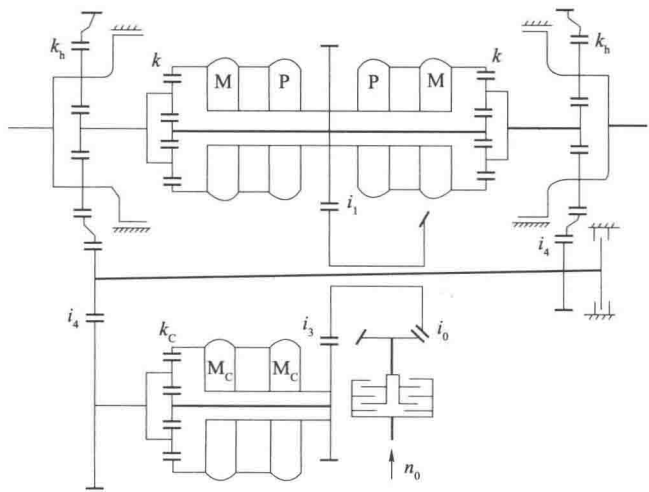


图 8-1-4 液压机械式传动

(5) 电力无级调速式

电力无级调速式装置是指发动机全部功率均由电力装置传递的传动装置，如图 8-1-5 所示，它利用的是电动机的高转速范围和低速大扭矩特性，因此传动特性最理想。这种传动形式的传递功率范围大、传动效率高，具备自适应和无级变速的性能，但是受限于电动机的技术水平，单位体积功率和单位质量功率都较低。1943 年，德国曾在自行火炮上装备过这种传动装置，目前也有多国在研究，但是并没有很成功的案例。

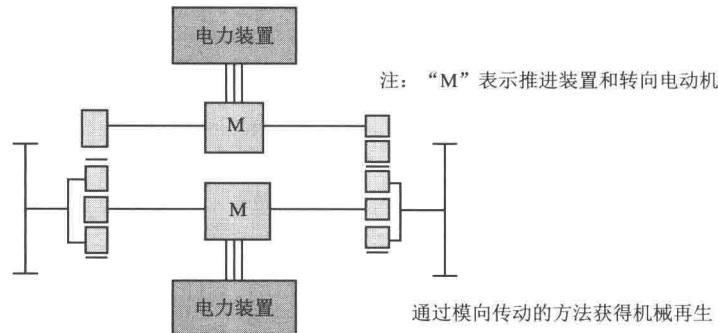


图 8-1-5 电力无级式传动

2. 按变速和转向功率的传递方式分类

按照变速功率和转向功率的传递方式，传动可以分为单流传动和双流传动。

(1) 单流传动

单流传动单指履带式装甲车辆变速功率和转向功率串联传递的传动方式。在这种传动形式中，变速机构与转向机构串联，发动机的功率先经过变速机构，再经过转向机构，最后传递到行动装置。目前，单流传动仅在中国、俄罗斯及购买其整车和生产技术自行制造坦克装甲车辆的一些国家中得到采用。

目前坦克装甲车辆上常用的典型单流传动布置有两种：

一种是带中央变速箱的单流传动形式，其负责变速的机构和转向的机构采取串联的形式布置。根据发动机在车辆中的布置形式，这种单流传动有两种布置方案：发动机纵置、发动机横置（图 8-1-6）。单流传动的特点是结构简单、制造容易、成本低、占用空间大、转向功能差。

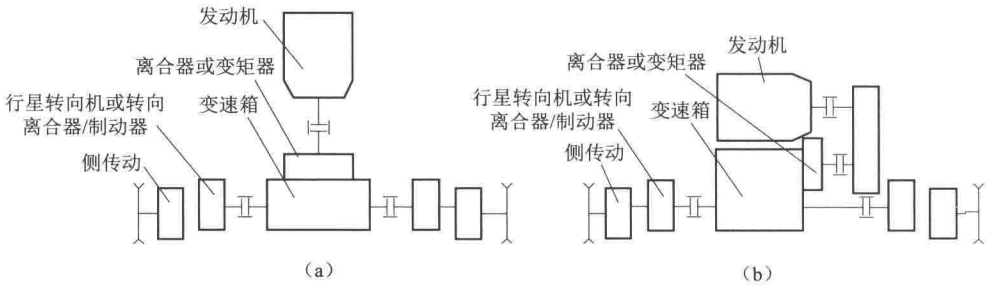


图 8-1-6 带中央变速箱的单流传动

(a) 发动机纵置；(b) 发动机横置

另一种是兼有转向功能的双侧变速箱单流传动布置，主要为俄罗斯和我国主战坦克所采

用,其传动示意图如图 8-1-7 所示。双侧变速箱方案的特点是动力传动舱占用空间小、车质量小,可维修性能、转向性能差。

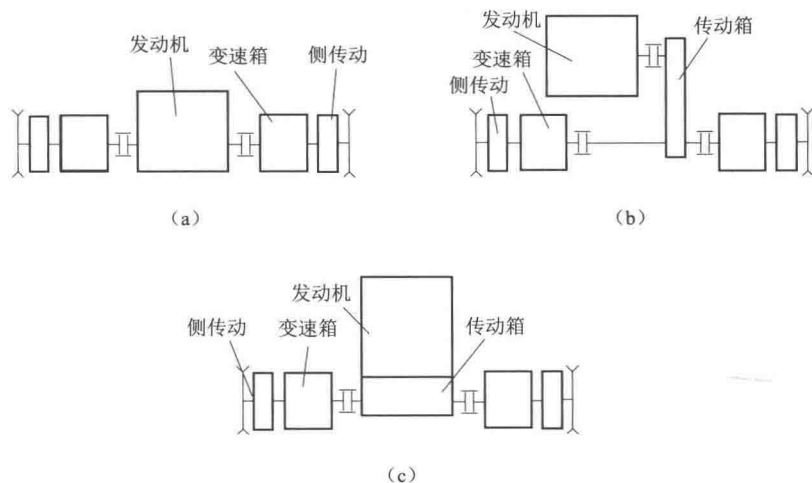


图 8-1-7 双侧变速箱

(a) 发动机双向输出; (b) 发动机横置; (c) 发动机纵置

(2) 双流传动

双流传动指的是变速机构与转向机构采用并联方式,发动机的功率经前传动后分变速功率和转向功率两路传递,最后在汇流行星排上汇合后再传递到侧减速器上的传动方式。

双流传动装置通常由液力变矩器及前传动、变速机构、转向机构、汇流机构等集成于一体,称为综合传动装置,其传动示意图如图 8-1-8 所示。

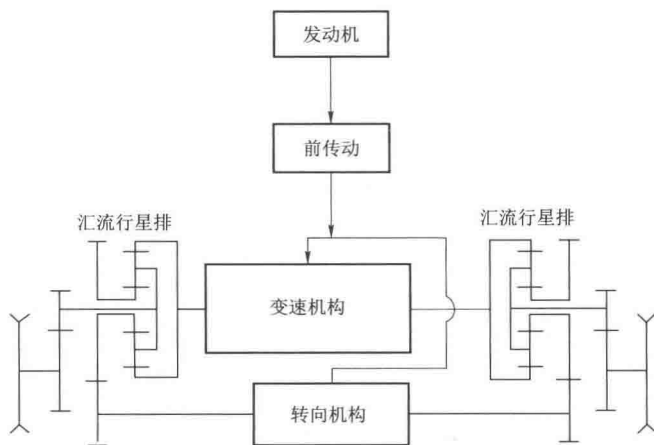


图 8-1-8 双流传动示意图

双流传动装置按照两侧履带速度的变化关系可以分为独立式双流传动和差速式双流传动。

1) 独立式双流传动装置

装备独立式双流传动装置的履带式车辆在转向时一侧履带速度不变,另一侧履带减速,

两侧履带速度的变化互相独立。

根据车辆直驶时汇流行星排中太阳齿轮与齿圈的旋转方向的关系，独立式双流传动装置又划分为正独立式双流传动和零独立式双流传动。

正独立式双流传动：车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮与齿圈转动方向相同。

零独立式双流传动：车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮不转动。

2) 差速式双流传动装置

装备差速式双流传动装置的履带式车辆在转向时一侧履带速度增大，另一侧履带速度降低，两侧履带速度之间是差速关系。

在差速式双流传动装置中，同样根据车辆直驶时汇流行星排中太阳齿轮与齿圈的旋转方向的关系，将差速式双流传动划分为三种类型。

正差速式双流传动：车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮与齿圈转动方向相同。

负差速式双流传动：车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮与齿圈转动方向相反。

零差速式双流传动：车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮不转动。

双流传动装置的主要特点是：

- ① 传动装置集成度高、体积小，便于整体吊装，战场抢修时间短；
- ② 车辆各挡均有自己的规定转向半径，规定转向半径数目多，则车辆转向机动性好；
- ③ 具备进行中心转向功能；
- ④ 结构复杂，加工困难，装配精度及成本高。

(二) 轮式车辆

现代轮式装甲车辆传动系统的布置方案主要取决于驱动轴的数目，其次取决于发动机的布置，以及悬挂形式（独立式、非独立式）等。按照驱动轮数量，轮式装甲车辆可以分为4×4、6×6、8×8、10×10共四种传动方案。

1. 4×4 双轴装甲车传动系布置形式

4×4 双轴驱动装甲车的三种传动布置方案如图 8-1-9 所示，其中图 8-1-9 (b) 所示类型与图 8-1-9 (a) 所示类型基本相同，不同点在于图 8-1-9 (b) 所示类型中具有轮边减速器。

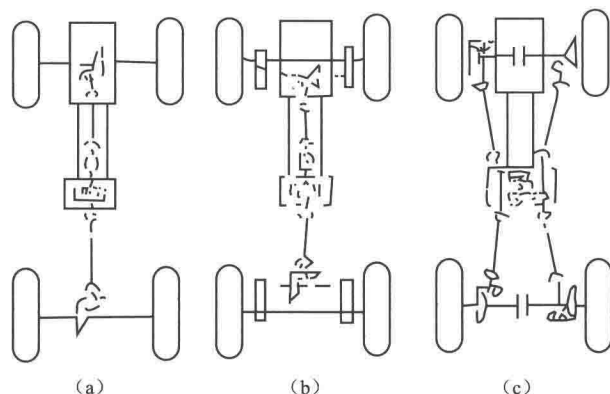


图 8-1-9 4×4 双轴装甲车传动系布置

轮边减速器相当于第二级主减速器，有的方案中轮边减速器布置在驱动轮的内侧，有的布置在外侧。

对于转向驱动轮来说,采用轮边减速布置方案是最合理的,因为它可以降低自差速器至驱动轮间万向传动轴上的负荷。

图 8-1-9 (c) 所示类型最适于采取独立悬挂装置。采用图 8-1-9 (c) 所示类型可以取消驱动桥桥体,简化到主动轮的传动,将传动轴布置在承载式车体的内部两侧;而图 8-1-9 (a)、图 8-1-9 (b) 所示类型采用独立式悬挂时,需要采用结构复杂的断开式驱动桥(图 8-1-10),而且必须让出车轮跳动与传动轴摆动所需要的空间,使车身增高,无法将主动轮的传动装置布置在承载式车体内部。

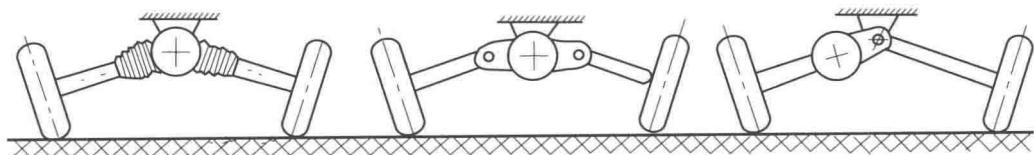


图 8-1-10 断开式驱动桥示意

2. 6×6 三轴装甲车传动系布置形式

6×6 三轴装甲车的三种传动系布置形式如图 8-1-11 所示。图 8-1-11 (a) 所示类型布置的中后桥采用并联传动,而图 8-1-11 (b) 所示类型则采用串联式传动;图 8-1-11 (c) 所示类型布置优点与图 8-1-9 (c) 类型一样。

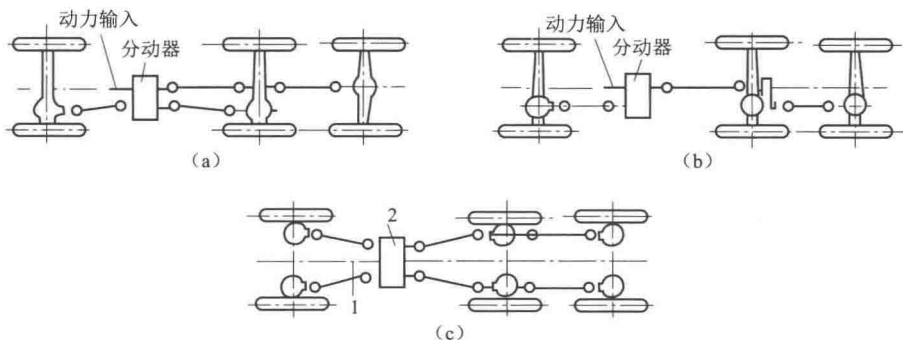


图 8-1-11 6×6 三轴装甲车传动系布置

(a) 中后桥并联形式; (b) 中后桥串联形式; (c) H 传动

图 8-1-12 所示为英国轮式装甲车“萨拉定”(Saladin) 的传动示意图,它采用的是图 8-1-11 (c) 所示的 6×6 三轴传动形式。发动机位于车辆后部,动力经液力偶合器 2 挡和 4 挡行星齿轮变速器传给带有差速器的分动器,动力从分动器选传到左右中间车轮的两个减速器,经车体内部沿侧装甲板布置传动轴,再分别传递到前后轮处的减速器。这种布置形式外形类似 H, 又被称为 H

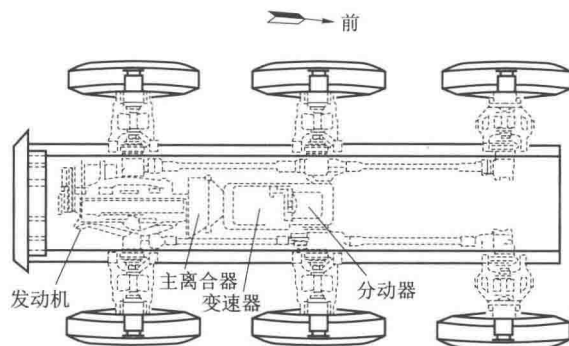


图 8-1-12 “萨拉定”三轴装甲车传动系布置

传动。

图 8-1-13 和 8-1-14 所示分别为我国某轮式步兵战车、装甲输送车的 6×6 传动布置图。

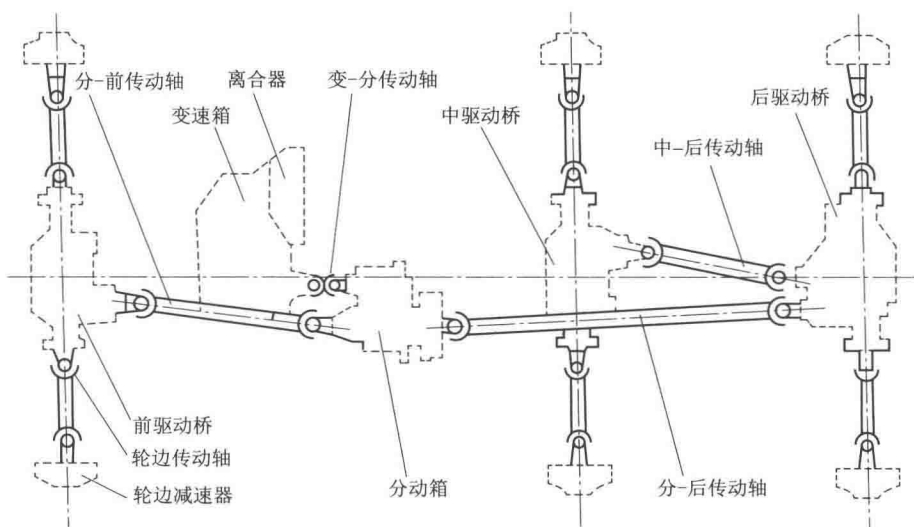


图 8-1-13 某轮式步兵战车传动布置

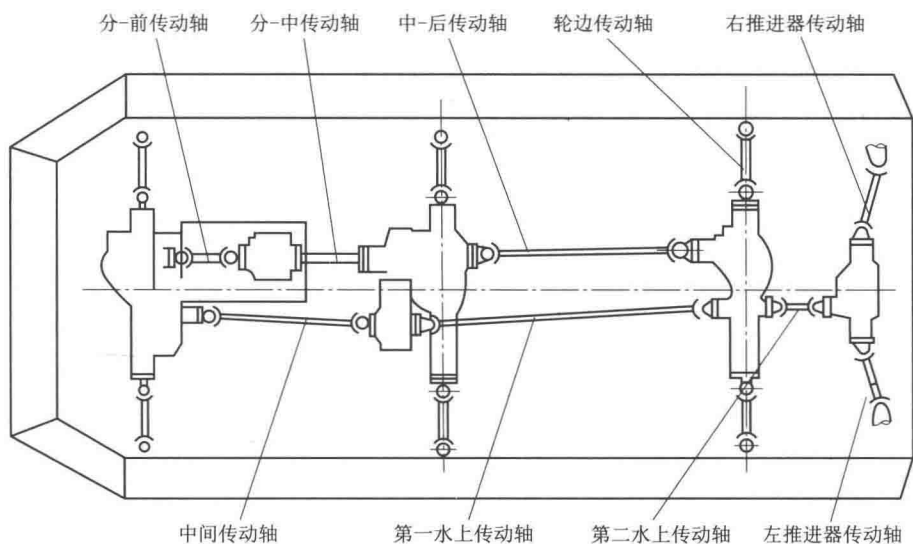


图 8-1-14 某轮式装甲输送车传动布置

3. 8×8 四轴装甲车传动系布置形式

8×8 四轴装甲车辆的传动形式大体上类似于三轴布置，分为中央传动和 H 传动两种形式。

图 8-1-15 所示为德国 8×8 “美洲狮 (235-2)” 型四轴装甲车的传动形式。发动机布置在车辆后方，传给两前桥及两后桥的扭矩是通过分动器进行分配的。每组桥之间的动力再通过差速器、半轴进行分配和传递。

图 8-1-16 所示为法国“潘那尔” 8×8 装甲汽车传动系布置图。其中，风冷卧式发动机

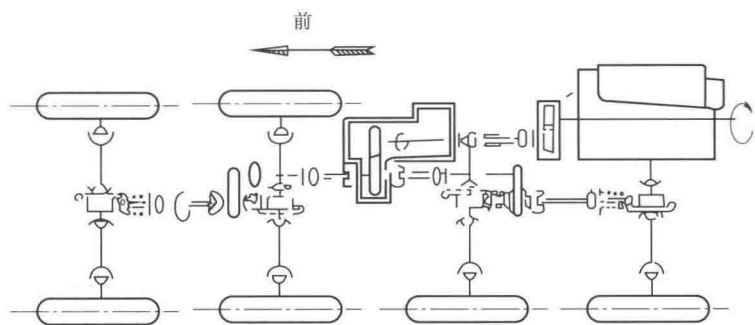


图 8-1-15 德国 8×8 “美洲狮 (235-2)” 型传动布置

布置在中部，动力经离合器、变速箱、换向机构传给差速器，经两侧加力后传给分动器再传给每侧的驱动轮。传动形式采取 H 形布置。

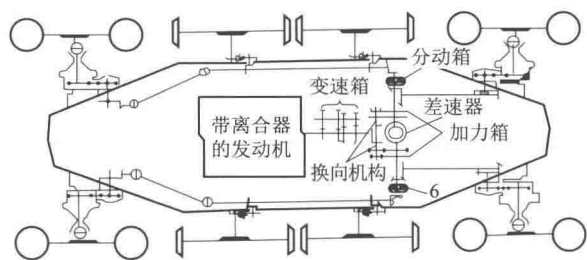


图 8-1-16 法国“潘那尔” 8×8 装甲汽车传动系布置

传统的多轴轮式车辆采用中央传动方案。这种方案中发动机动力经变速后，经过分动箱传递给前、中、后桥差速器，再传递给两侧车轮。这种传动中传动轴布置在车体中央，因此称为中央传动。

中央传动方案应用较多，由于车身较高、防护略差，因此主要用于各种二线车辆如突击炮、火箭炮、自行榴弹炮等，也有轮式步兵战车采用此方案。

轮式车辆采用 H 传动的设计方案。这种方案中发动机动力经变速后，由主差速器传动箱传到两侧，再分别传到两侧车轮，其传动形似 H 形，故称 H 传动。图 8-1-17 所示为我国

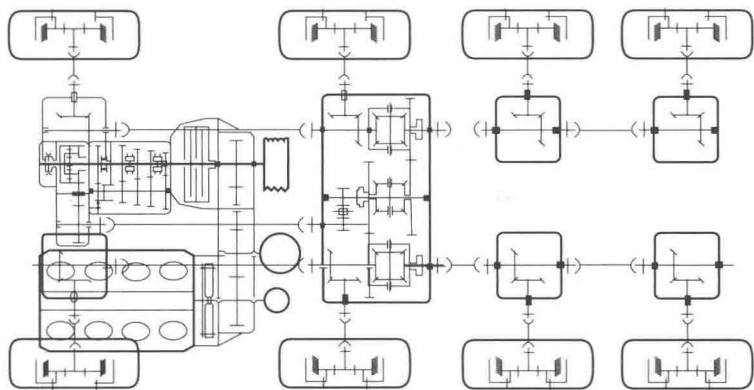


图 8-1-17 我国某型 H 传动简图

某型 H 传动简图。

通常, 轮式车辆采用 H 传动可降低车高 300 mm, 并使重心降低、抗倾覆能力增强, 同时提高防护能力。

四、发展趋势

履带式坦克装甲车辆传动装置中, 现在主流的是以行星传动、液力传动、双流传动、电液操纵、液压无级转向为主要技术特征的综合传动装置。液压机械综合传动的应用虽不广泛, 但已经显示出一定的优越性。电力传动也正紧锣密鼓地开展研究, 机电复合传动是坦克装甲车辆上适应未来电磁炮、电热炮等新式电能武器的重要的传动形式。

轮式装甲车辆传动目前以自动换挡行星变速、多轴驱动为主流, 电力多轮独立驱动是目前研究的重点。

今后坦克装甲车辆传动装置发展的趋势, 主要是广泛采用行星传动、液压转向机构、液力制动器、电液自动操纵系统, 并设置高速倒挡, 发展无级或电力传动。

第二节 联轴器

联轴器是用于两个旋转机件之间的连接, 以完成动力传输的部件。除此之外, 弹性联轴器中弹性元件的变形、摩擦及油液的阻尼作用, 可以降低发动机曲轴扭振, 减小或避免动力传动系统产生共振, 达到提高发动机和传动装置机件使用寿命的目的。

目前, 在坦克装甲车辆上的联轴器主要有齿套联轴器、膜片联轴器和盖斯林格联轴器等几种。

一、盖斯林格联轴器构造

某装甲车辆采用的盖斯林格弹性联轴器, 位于发动机与综合传动装置前传动之间, 主动部分与发动机飞轮刚性连接, 被动部分与变速箱输入轴花键连接。

盖斯林格联轴器的功用是转移动力传动系统扭转振动的自振频率, 将共振点移至发动机常用工作转速之外; 利用阻尼降低动力传动系统的扭转振动, 降低共振的振幅, 以保证动力传动系统安全运行。

盖斯林格弹性联轴器由主动部分(外部构件)和被动部分(内部构件)组成(图 8-2-1)。

1. 主动部分

主动部分由法兰盘、中间块、紧固圈、簧片组件、侧板和六角螺栓等组成。

法兰盘: 法兰盘上有 3 排圆孔, 最外排的孔(24 个)与发动机飞轮上的螺孔相对应, 并通过螺栓将弹性联轴器安装在发动机飞轮上, 最外排还有两个安装对中工具的螺纹孔; 内 2 排(16×2 个)孔通过六角螺栓与侧板连接在一起, 在与紧固圈和花键轴的结合面上开有安装 O 形圈的环槽。

中间块: 中间块共有 16 块, 它夹在法兰盘与侧板之间并形成 16 个隔腔, 把 16 个簧片组件隔开, 起支撑簧片组件、传递动力和防止簧片过载的作用。

紧固圈: 紧固圈是一个环形, 与法兰盘、侧板、花键轴共同构成一个油腔。

簧片组件: 簧片组件共有 16 组, 每组由 11 个弹簧片组成。组合好的弹簧片用轻型弹性

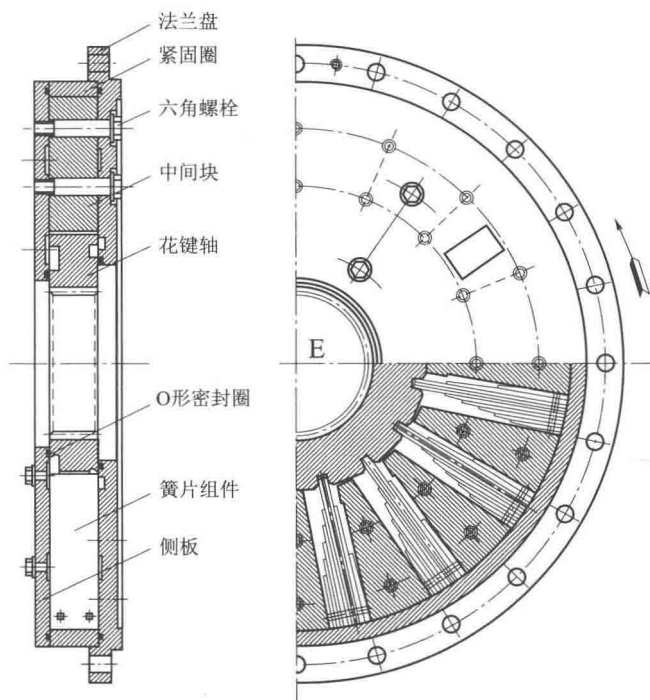


图 8-2-1 盖斯林格联轴器

圆柱销串起来，以便安装，其中 3 个长弹簧片插入花键轴的花键槽中，用以把主动部分的动力传递给被动部分。

侧板：侧板上有 8 个放气孔和 2 个螺孔，在与紧固圈和花键轴的结合面上开有安装 O 形圈的环形槽。

2. 被动部分

被动部分由花键轴和 O 形橡胶密封圈等组成。

花键轴：制有内、外花键，外花键用于安装弹簧片；内花键与连接齿套连接。花键轴与侧板和法兰盘之间用 O 形圈密封。

二、盖斯林格联轴器工作原理

在发动机工作时，动力由飞轮传给盖斯林格联轴器，再通过连接齿套带动综合传动装置输入轴旋转。

簧片组件将内外构件连接起来，并与其形成两个空腔，空腔由预充的润滑油充满。当扭转振动发生时，这些润滑油将被弯曲的簧片组件从一个空腔压入另一个空腔，并以很高的频率来回流动。由于润滑油的黏度比较大，在流动过程中就产生了相当大的阻尼。盖斯林格联轴器工作时，一方面，利用簧片组件的弹性来调节动力传动系统扭转振动的自振频率，将危险的共振点排除在发动机常用工作转速之外；另一方面，利用润滑油流动产生的阻尼降低共振时的振幅，以保证动力传动系统安全运行。

第三节 主离合器

目前,在坦克装甲车辆上使用的主离合器和曾经使用过的转向离合器均为常闭、多片、干摩擦式,而换挡离合器常用的是常开、多片、湿摩擦式。

主离合器传递最大扭矩的大小取决于摩擦片上的压紧力、摩擦力作用半径、摩擦材料、工作面数、工作温度和摩擦系数等因素。由于摩擦材料、工作温度、单位压力、滑摩速度等因素导致摩擦系数下降,因此,离合器中最大摩擦力矩在工作时总是下降的。为保证主离合器在任何情况下都能可靠传递发动机的最大扭矩,要求主离合器能够传递的最大摩擦力矩要大于发动机的最大输出扭矩。通常把前一种扭矩与后一种扭矩的比值称为主离合器的储备系数 β 。为了使主离合器尺寸不致过大,同时满足减少传动系过载和操纵轻便等要求,在设计坦克装甲车辆主离合器时,这个数值通常控制在1.9~2.7范围内。

一、某主战坦克多片式主离合器

某型主战坦克的主离合器属于常闭、可操纵、多片、干摩擦式主离合器,位于齿轮传动箱和变速箱之间,安装在变速箱主动轴上。该主离合器前端通过连接齿套与齿轮传动箱被动轴上连接齿轮相连,输出端的被动鼓则通过花键与变速箱上的主动轴相连。

(一) 功用

① 便于发动机空载启动。在发动机启动时,先断开主离合器,减小发动机启动时的惯性阻力,以实现发动机空载启动。

② 便于坦克平稳起步和加速。启动发动机后,发动机曲轴是旋转的,而变速箱后面的所有零件都是静止的,如果两者突然接合,会产生巨大惯性力,造成发动机熄火或传动部件损坏。利用离合器的摩擦柔和地结合主离合器,可使坦克平稳起步。同样,换挡后柔和地结合主离合器可以使坦克平稳加速,从而改善乘务员的乘坐舒适性。

③ 便于换挡。换挡时,利用主离合器把发动机动力和变速箱短暂断开,减小换挡过程中被动齿轮连接部分的惯量,避免由于啮合齿轮齿面压紧力所造成的摘挡困难和不同挡位主、被动齿轮间圆周速度不同所产生的换挡冲击,从而延长传动件的使用寿命。

④ 过载保护。坦克在行驶中突然遇到障碍时,或紧急制动时,传动装置需要承受的负载成倍增大。这时,通过主离合器主、被动部分之间的滑摩,限定了最大的负载,避免了传动机件的过载损坏。

(二) 构造

1. 组成

该主离合器由主动部分、被动部分、加压机构和分离机构器组成,结构如图8-3-1所示。

(1) 主动部分

主动部分由连接齿轮及接合盘、主动鼓、主动摩擦片、球轴承、毡垫盖和毡垫等组成。连接齿轮与接合盘制成一体,经球F314U轴承支撑在变速箱主动轴上。接合盘大径处

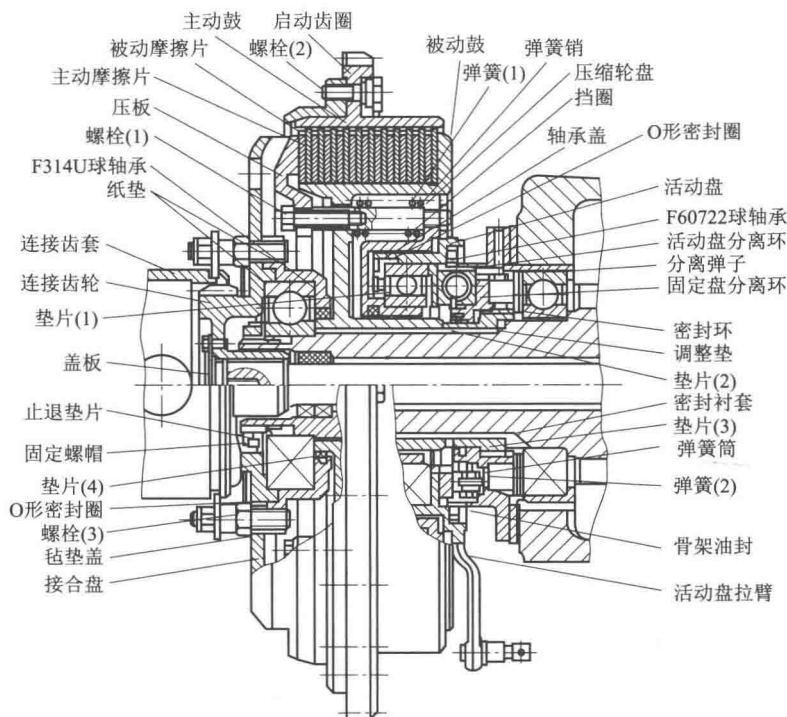


图 8-3-1 主离合器剖面图

通过螺栓（2）与主动鼓相连。主动鼓外齿圈为启动齿圈，用于电启动发动机时，与启动电动机轴上的启动齿轮相啮合。主动鼓的内齿槽与主动摩擦片相啮合。

连接齿轮内孔花键连接着发动机冷却风扇传动装置的主动轴。接合盘上铣有两个月牙槽，用于甩出接合盘内的摩擦粉末、漏泄油及其他污物并冷却摩擦片。另外，当摩擦片磨损，并且用改变拉杆长度的方法仍不能使弹子间隙达到规定值时，可以使用接合盘上两个大孔在车上调整分离弹子的间隙。

（2）被动部分

被动部分由被动鼓、被动摩擦片组成。

被动鼓通过内花键套装在变速箱主动轴上，其外径上加工有齿槽及凸盘。齿槽与被动摩擦片相啮合。凸盘用来支撑摩擦片并兼起一个摩擦面的作用。

（3）加压机

加压机由压板、压缩轮盘、弹簧销及弹簧组成。

压板用螺栓（1）和防松垫片固定在弹簧销上。弹簧销共有 18 根，弹簧销穿过被动鼓，上面套着弹簧（1），弹簧一端顶在被动鼓上，另一端顶在压缩轮盘上，其张力经压缩轮盘、弹簧销和压板将主、被动摩擦片压紧。在压板上均匀分布有 36 个弹簧销孔，其中互相间隔的 18 个孔加工有 1.5 mm 的台阶孔，它们在调整弹子间隙、更换摩擦片时才使用。压缩轮盘在内径环槽内装有毡垫，用于防止分离机构的润滑脂流到摩擦片上。

（4）分离机构

分离机构由固定盘、活动盘、球轴承、分离弹子和压顶装置等组成，分离机构立体图如

图 8-3-2 所示。

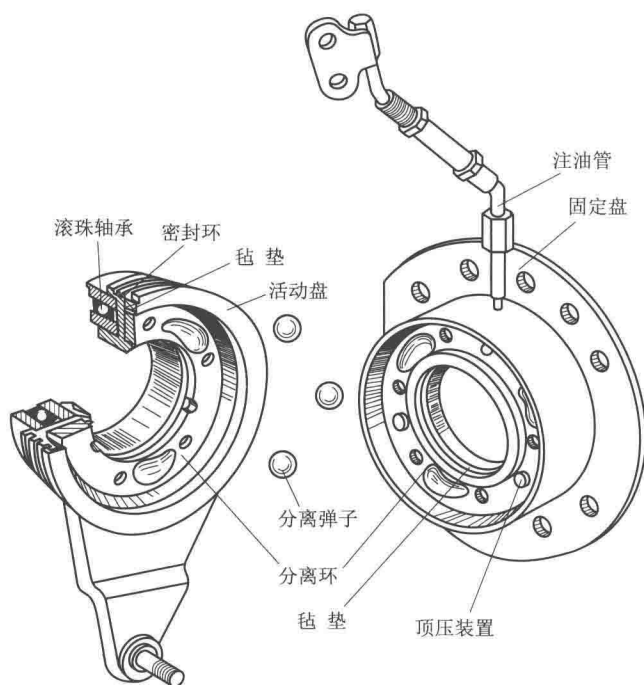


图 8-3-2 分离机构

固定盘与变速箱、主动轴轴承固定套一起固定在变速箱箱体上。固定盘上还铆有分离环，分离环上有三个倾斜成弧形雨滴状的弹子槽和三个安装顶压装置的圆孔。弹子槽内安装着 3 个分离弹子。活动盘套装在固定盘上，其上也铆着分离环，环上有三个倾斜方向与固定盘相反的弹子槽。装配后，固定盘和活动盘上弹子槽将构成分离弹子的工作转动轨道。均匀地安装在固定盘分离环的三个圆孔内的顶压装置共 3 个，均由弹簧筒和弹簧组成。当主离合器处于接合状态时，消除活动盘的轴向窜动，同时使分离弹子与固定盘和活动盘之间保持一定的间隙。

F60722 球轴承的作用是支撑活动盘。当主离合器分离时，分离机构产生的轴向推力经球轴承传给压缩轮盘。

轴承外侧安装的轴承盖用卡环固定在活动盘内，其内环槽安装的毡垫和轴承盖与活动盘体之间安装的 O 形密封圈都是用于防止轴承内润滑脂外流的。

在固定盘内径环形槽内装有密闭用垫片（3），用于防止变速箱内润滑油外漏。在其外圆柱表面上焊有向分离机构及轴承加注润滑脂的注油接管。

装在活动盘上的骨架油封用来防止球轴承和分离机构内润滑脂外漏。

2. 工作原理

（1）动力传输

驾驶员松开离合器踏板，主离合器接合，主离合器中的主、被动摩擦片在加压机构中弹簧力的作用下被压紧，使得主、被动部分成为一体式旋转。发动机动力传至主离合器主动部分、被动部分后，传给变速箱主动轴。

(2) 工作过程

1) 分离

驾驶员松开离合器踏板，主离合器接合，分离弹子状态如图 8-3-3 (a) 所示。这时，分离弹子不是在分离环凹槽的最深处，而是在固定盘和活动盘上两个分离环之间的轴向间隙，这个间隙叫作分离弹子使用间隙。踩下主离合器踏板，操纵装置带动活动盘拉臂向前转动，弹子间隙刚消失时分离弹子状态如图 8-3-3 (b) 所示。继续踩踏板，活动盘转动，迫使分离弹子沿两盘分离环上的斜槽由深槽处向浅槽处滚动，同时迫使活动盘产生向左的轴向移动，并通过 F60722 球轴承、压缩轮盘、压缩弹簧 (1)、销子带动压板向左轴向移动，使得原来压紧的主、被动摩擦片松开。当踏板踩到极限位置时，主离合器被彻底分离，发动机动力将被切断，这时分离弹子状态如图 8-3-3 (c) 所示。这个过程中，压板移动的距离称为压板行程。

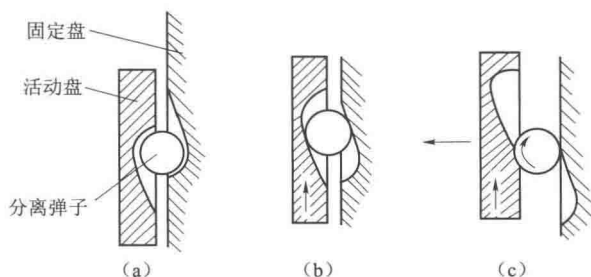


图 8-3-3 分离机构

2) 接合

驾驶员松开主离合器踏板时，压缩弹簧 (1) 的力消失，弹簧 (1) 伸长并推动压缩轮盘向右移动，并通过 F60722 球轴承使活动盘向右移动。同时，活动盘向后转动，使分离弹子由浅槽滚向深槽；弹簧销也被压缩轮盘带动向右运动，进而带动压板向右逐渐压紧主、被动摩擦片，将发动机动力经主离合器传给变速箱。当活动盘恢复到初始位置时，弹子使用间隙恢复，主离合器接合过程结束。

3) 滑摩

当坦克速度剧烈变化时，与主动轮连接的传动旋转部件产生的惯性力矩将大于主离合器能够传递的最大力矩，此时主离合器主、被动摩擦片产生滑摩，从而保护传动机件不致因过载而损坏；当坦克装甲车辆负载急剧变化时，过大的负载会经过与主动轮连接的传动部件传向发动机，当其经过离合器时，主离合器主、被动摩擦片产生滑摩，使负载限定在许用值以内，从而保护传动部件。

二、某轮式装甲车主离合器

某轮式装甲车主离合器位于发动机和后传动箱之间，是带扭转减振器的常闭、可操纵、单片、干摩擦式主离合器，它使用螺栓固定在飞轮后平面上。离合器的输出轴是后传动箱的输入轴。

(一) 功用

① 启动发动机和变换挡位时，依靠离合器的分离来切断发动机与变速器的联系，以减

小启动阻力和减轻对变速器齿轮的冲击。

② 起车时和换挡后，依靠离合器的平稳接合使负荷平稳地传给发动机。

③ 车辆运动速度或负荷急剧变化时，依靠离合器的滑摩（打滑）来防止传动装置和发动机因受到过大的负荷而损坏机件。

④ 消减传动系在工作时的扭转振动。

（二）构造

1. 组成

离合器是由主动部分、从动部分、加压机构、分离机构及飞轮壳等组成（图 8-3-4）。

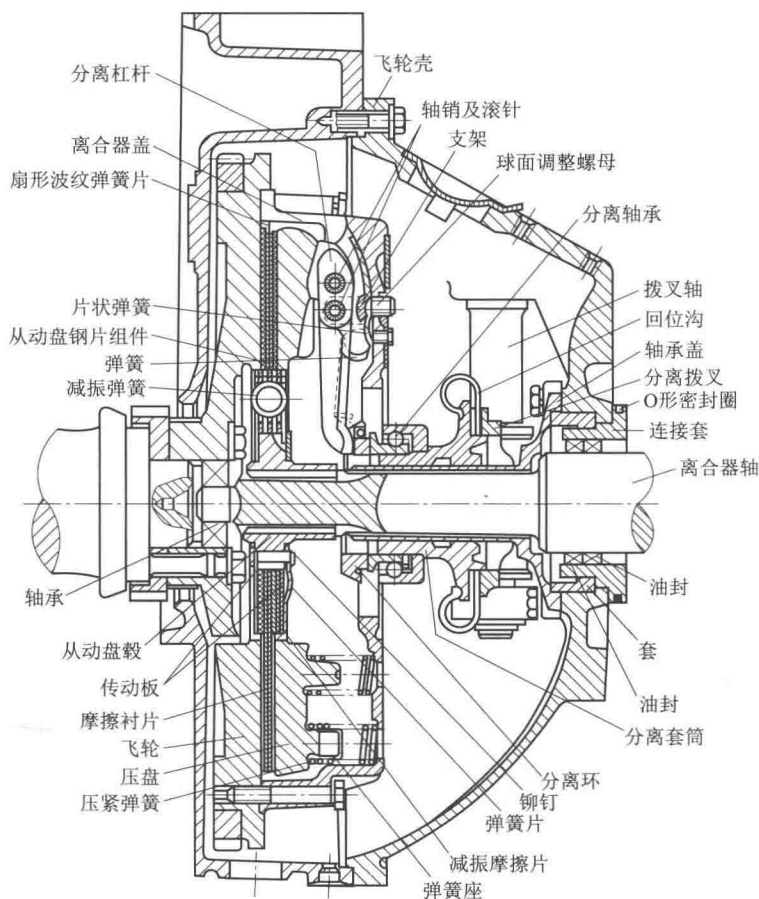


图 8-3-4 主离合器

（1）主动部分

离合器的主动部分直接与发动机连接在一起，由飞轮、离合器盖等机件组成。

飞轮通过螺栓与发动机曲轴输出端的凸缘盘连接。飞轮的外缘装有启动齿圈，用来启动发动机。离合器盖用螺栓紧固在飞轮上。

（2）从动部分

从动部分由带扭转减振器的从动盘（俗称离合器片）总成和离合器轴（后传动箱第一轴）等主要机件组成。

从动盘总成由从动盘钢片组件、摩擦衬片、从动盘毂、扇形波纹弹簧片、减振弹簧、减振摩擦片、传动板和弹簧片等机件组成。后摩擦衬片不直接铆在从动钢片上，其间增加了扇形波纹弹簧片，该弹簧片部分地与从动盘钢片铆合在一起，而其余部分与后摩擦衬片铆接。从动盘钢片与从动盘毂之间靠弹性元件和摩擦片进行弹性连接。从动盘毂和离合器轴之间用花键连接。摩擦衬片之间装有扇形波纹弹簧片，使离合器轴装配后在两摩擦衬片之间形成一定间隙。在离合器接合过程中，即压盘压紧从动盘时，随着压紧力的增大，波纹弹簧片被逐渐压平，变形逐渐增大，从而使得从动盘上的压紧力（即摩擦力矩）可以较平稳地增大，以利于柔和平稳地接合。

为消减传动系在工作时的扭转振动，使发动机与传动系接合柔和，以便车平稳起步，在离合器从动盘上装有扭转减振器。

扭转减振器主要由前、后传动板及减振摩擦片、弹簧片、减振弹簧等组成。

前、后传动板分别通过铆钉或键槽与从动盘毂连成一体。在前、后传动板之间夹有从动盘钢片和一组减振摩擦片，在圆周方向的几个窗孔内放着减振弹簧，传动板、从动盘钢片与减振摩擦片之间靠经铆钉铆合的弹簧片轴向压紧，从动盘钢片与传动板（即从动盘毂）之间可以相对转动。

（3）加压机构

加压机构主要包括压盘和压紧弹簧。

压盘上有六个分离杠杆铰接支座，插入主动盘的内侧缺口中。压盘既能随同离合器盖旋转，也能沿飞轮壳和飞轮做轴向移动。压紧弹簧按刚度分成两组，其中刚度大的弹簧涂有红色，其余无色标记的为刚度小的弹簧，所有压紧弹簧沿压盘周围分六组（每组五个）对称分布。

（4）分离机构

分离机构由分离杠杆、球面调整螺母、杠杆支架、分离环、分离套筒、分离轴承、分离拨叉及拨叉轴等主要机件组成。

2. 工作原理

（1）传递动力

从动盘在离合器轴上滑动，被压盘压紧在飞轮和压盘之间；从动盘上的摩擦衬片与压盘和飞轮之间形成的两对摩擦副间产生摩擦力，发动机扭矩通过摩擦力传递给离合器从动轴。

（2）分离过程

踏下离合器踏板，从离合器操纵装置传来的压力通过工作缸推动拉臂使拨叉轴转动，带动分离拨叉向前摆动，推动分离轴承座向前，迫使分离环也沿轴向向前移动，推动分离杠杆绕支点也向前摆动，弹簧被压缩，与分离杠杆另一端铰接的压盘沿相反方向被移开，从动盘两端面与飞轮和压盘的接合面分离，从动盘处于自由状态，动力切断。

（3）接合过程

放松离合器踏板，分离轴承后移，压盘在弹簧作用下前移，与从动盘逐渐接触并压向飞轮。当压紧力不大时，从动盘与压盘、飞轮之间相对滑摩；待压紧力超过一定数值，从动盘与压盘、飞轮之间相对转速为零；踏板力完全解除，压紧力达到最大值时，离合器的接合过程结束。

（4）减振

该扭转减振器的工作原理如图 8-3-5 所示。

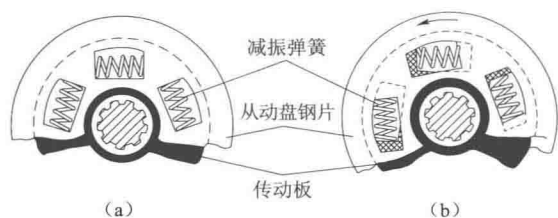


图 8-3-5 扭转减振器工作示意

同时缓解了发动机传来的高频扭转振动。另外，外界因素导致传动系的角速度突变而对发动机的牵连作用也会被扭转减振器所抑制，使发动机的转速变化较为平缓；主、从动盘与减振摩擦片之间相对滑摩时，振动能量被吸收，变成热能散发于空气中，使振动迅速衰减，传动系统免受大的交变载荷。

离合器不传递扭矩时，如图 8-3-5 (a) 所示。传递扭矩时，动盘摩擦片传来的扭矩首先传到从动盘钢片 2 上，再经减振弹簧传给传动板和从动盘毂，此时减振弹簧被压缩，如图 8-3-5 (b) 所示。这样，通过减振弹簧的逐渐变形将发动机输出的扭矩平稳地传递下去，

第四节 变 速 箱

一、变速箱的功用与类型

变速箱是传动系统中的一个重要的部件，用来改变发动机和驱动轮之间的传动比，以便在更大的范围内改变坦克装甲车辆的牵引力和行驶速度。

现代坦克装甲车辆用活塞式内燃发动机的转矩范围和转速范围很小，无法适应车辆的行驶驱动和速度要求，必须在发动机和驱动轮之间增加能够改变发动机的转矩和转速范围的传动装置，使得需要大的扭矩时，增大传动比，增大驱动轮上的扭矩；需要高的车速时，减小传动比，提高驱动轮的转速。另外，现代发动机朝着反向旋转，满足不了车辆倒向行驶，需要在传动环节中增加倒向功能机构；再有，车辆有时需要停车不熄火，而驾驶员又必须离开操作位置，这又需要传动环节中有部件具备无人控制而中断发动机的动力输出的功能，这就是变速箱的空挡功能。

综上，变速箱的作用有：

- ① 传递动力；
- ② 较大范围内改变车辆牵引力和车速；
- ③ 提供倒挡；
- ④ 提供空挡；
- ⑤ 实现发动机动力的分流。

按照传动比的特点，变速箱可以划分为有级式、无级式和综合式三种。

(1) 有级式

坦克装甲车辆上安装的变速箱一般为有级式。所谓有级式变速箱，指的是在发动机转速一定时，具有有限的几个定值传动比的变速箱。级数，即通常所说的挡位，挡位越多，对发动机工作越有利，坦克的动力性和经济性也越好，但是挡位越多，结构越复杂。通常履带式装甲车辆有 4~6 个前进挡和 1~2 个倒挡，轮式装甲车辆的挡位数比履带式装甲车辆的多，通常采用主变速箱加副变速箱的组合形式。

(2) 无级式

无级式用于无轨电车, 传动部件采用电动机的电力式和曾经用液力边矩器作为传动部件的液力式, 以及在民用乘用车中采用的钢带无级变速器。

(3) 综合式

通常由液力变矩器、定轴式或行星式变速机构、机械式或液压式转向与制动机构组成的液力式机械变速箱, 在坦克装甲车辆及汽车上都有应用。

按照齿轮轮系形式, 机械式变速箱可以划分为定轴式和行星式两大类型。

定轴式变速箱中所有的齿轮都有固定的回转轴线。行星变速箱中有的齿轮的轴线在空间旋转, 有公转和自转两种运动。有空间旋转轴线的齿轮叫作行星齿轮, 因此, 这类变速箱称为行星变速箱。

定轴式变速箱按轴的布置方式可以划分为同轴式、双轴式和多轴式三种。

(1) 同轴式

同轴式通常由三根轴组成, 其主要特点是输入与输出轴的轴心相同, 并可容易地获得直接挡。这种变速箱传动范围一般在 1.5~3.5 之间, 挡数不多, 在各类型手动变速的汽车中应用较多。

(2) 双轴式

双轴式的传动由一对齿轮啮合完成。这种变速箱传动效率高, 结构和操纵方式也简单。

(3) 多轴式

多轴式由三根或三根以上轴组成, 既可以制成输入与输出同轴式的, 也可以制成一端输入、两端输出的 T 字形变速箱, 或者其他形式的。这种变速箱传动范围一般可达 6~7。

二、定轴式变速箱

相比于行星式变速箱, 定轴式变速箱具有结构简单、工作可靠、价格低、加工与装配要求低、精度易于保证的优点。缺点是单齿传动产生的径向力使轴弯曲变形较大, 相同功率下占用空间大; 换挡时需切断动力, 影响车辆的平均行驶速度; 采用人力换挡有级变速时, 功率损失较大, 动力经济性差, 平顺性降低, 驾驶员工作强度大。

(一) 定轴式变速箱基本工作原理

定轴式变速箱一般由输入轴、中间轴、主轴、倒挡轴、齿轮对和换挡机构组成 (图 8-4-1)。主轴为输出端, 主动轴为输入端, 主动轴不参与变速。中间轴和主轴上装有多对齿轮, 均为常啮合。由于每对齿轮副的齿数比不同, 就构成了不同的传动比。每一个传动比对应变速箱的一个排挡。变速机构的排挡数目, 根据车辆的动力性和经济性确定。每一对变速齿轮副中只有一个齿轮和中间轴或主轴采取花键连接, 另一个齿轮则通过轴承套装在轴上。在每两对齿轮副中间, 安装着换挡机构, 换挡机构和轴刚

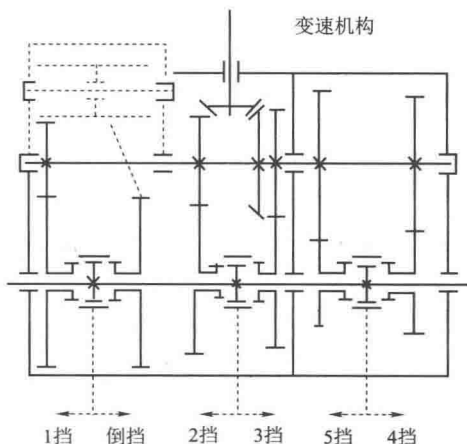


图 8-4-1 定轴式变速箱基本工作原理

性连接。换挡机构有三个位置：左、右换挡位置和中间空挡位置。换挡机构滑向哪一侧，就和哪一侧的齿轮啮合，把原来通过轴承套装在轴上的齿轮借助换挡机构与轴刚性连接，动力就沿着这一对齿轮向下传递；当换挡机构滑向另一侧时，首先脱开原来与轴连接的齿轮，保证每次只有唯一的动力传递；当不需要这个换挡机构对应的挡位传递动力时，换挡机构换到中间空挡位置，左、右主被动齿轮都空转，不传递动力。为了实现车辆的倒向行驶，在变速箱中设有倒挡。倒挡的实现是在传动中增加了一个倒挡齿轮，由于齿轮多啮合了一次，改变了主轴的旋转方向。变速箱中所有的换挡机构一次只能有一个工作，即实现唯一的动力传动。当所有的换挡机构都换到空挡位置时，变速箱换空挡，中断动力传递。

(二) 某主战坦克定轴式变速箱

某主战坦克定轴式变速箱安装在传动系的主离合器与行星转向机之间（图 8-4-2）。变速箱属于横置机械固定轴式变速箱，有五个前进挡和一个倒挡。

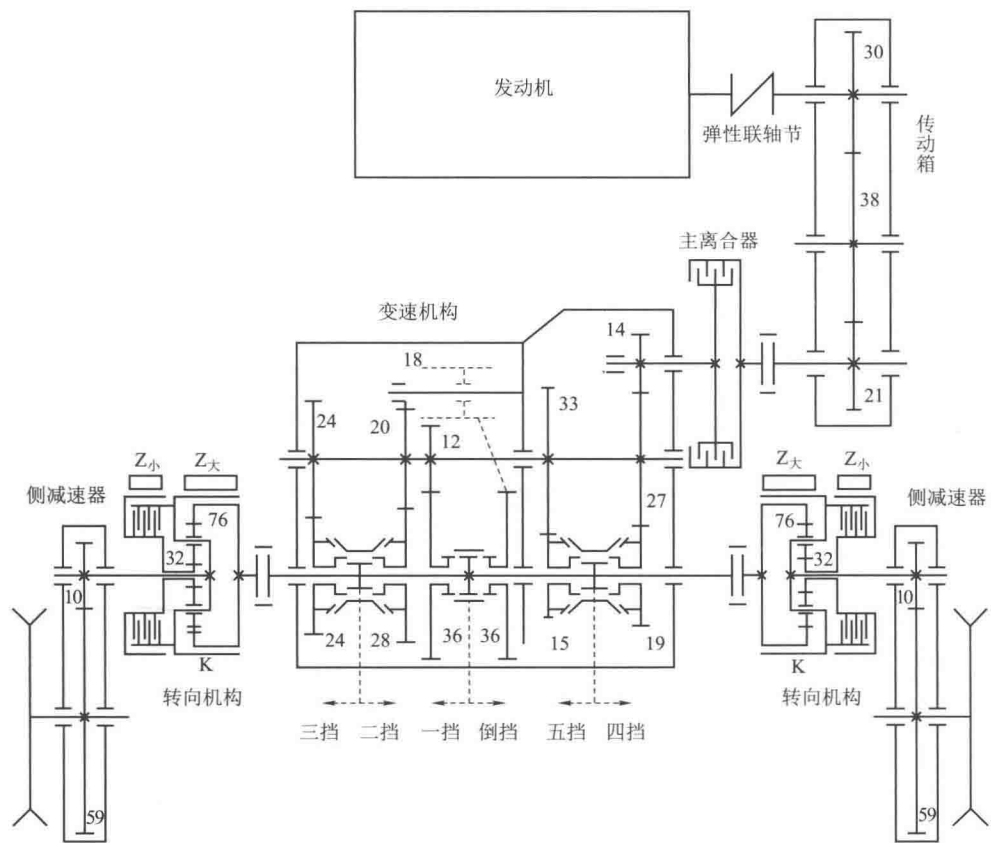


图 8-4-2 某主战坦克传动示意

1. 工作原理

动力经传动箱、主离合器传至主动轴后，经过一对常啮合齿轮传给中间轴，中间轴上依次用花键连接着四挡、五挡、倒挡、一档、二挡、三挡主动齿轮。除倒挡外，在主轴上有相应的被动齿轮与之啮合。倒挡被动齿轮是由中间轴上的倒挡主动齿轮经倒挡轴上齿轮带动。在一挡、倒挡被动齿轮之间装有换挡滑动齿套，在二挡与三挡、四挡与五挡被动齿轮之间装

有同步器。

(1) 空挡工作

当同步器和滑动齿套都处于空挡位置时,中间轴上主动齿轮带动主轴上被动齿轮旋转。由于各换挡机构都处于空挡位置,各被动齿轮只在主轴上空转,动力传不到主轴上,因此主轴上无动力输出。此时坦克处于停止或换挡过程状态。

(2) 前进挡工作

当变速箱挂一挡至五挡时,发动机动力经中间轴(挂四挡时,动力不经中间轴)各挡主动齿轮、主轴上各挡被动齿轮、滑动齿套或同步器换挡机构传给主轴。

各挡传动比如下:

$$\text{一挡: } i_1 = \frac{22}{14} \times \frac{36}{12} = 5.786$$

$$\text{二挡: } i_2 = \frac{27}{14} \times \frac{28}{20} = 2.7$$

$$\text{三挡: } i_3 = 1.929$$

$$\text{四挡: } i_4 = 1.357$$

$$\text{五挡: } i_5 = 0.904$$

(3) 倒挡工作

当变速箱挂倒挡工作时,发动机动力经中间轴、一倒挡主动齿轮、倒挡齿轮、倒挡被动齿轮、滑动齿套换挡机构传给主轴。由于传动中增加了一次倒挡齿轮的啮合,因此改变了主轴的旋转方向,使得坦克可以倒向行驶。

倒挡传动比如下:

$$\text{倒挡: } i_{-1} = -5.786$$

2. 构造

变速箱用三个支点固定在车体内支架上:箱体前部用四个螺栓固定,后部则通过主轴两侧的轴承座与左右支架固定。

变速箱由箱体、主动轴总成、中间轴总成、主轴总成、倒挡轴部分、换挡机构、润滑系统助力油泵连接装置、风扇联动装置等组成(图8-4-3)。

(1) 箱体

变速箱箱体由铝合金铸造的上、下箱体组成,用20个螺钉、3个双头螺栓按一定的顺序依次均匀固定。

上箱体上有拨叉轴安装孔、挡位标记、风扇传动的检查窗、齿轮室及中间轴安装孔、柱塞泵供油检查孔、润滑系统的进出油口、加油口及螺塞等。

下箱体上有倒挡轴安装孔、润滑系统的进出油口和放油口及螺塞。

(2) 主动轴总成

主动轴总成是变速箱的输入部分,其作用是将主离合器传来的动力传给中间轴和风扇传动装置,其主动轴上安装着主离合器。

主动轴总成由主动齿轮轴、球轴承、滚子轴承、轴承座、挡油盘、调整垫、密封衬套及密封环等组成(图8-4-4)。

主动轴是与主动齿轮制成一体的空心齿轮轴。右端的花键上安装主离合器被动毂,左端

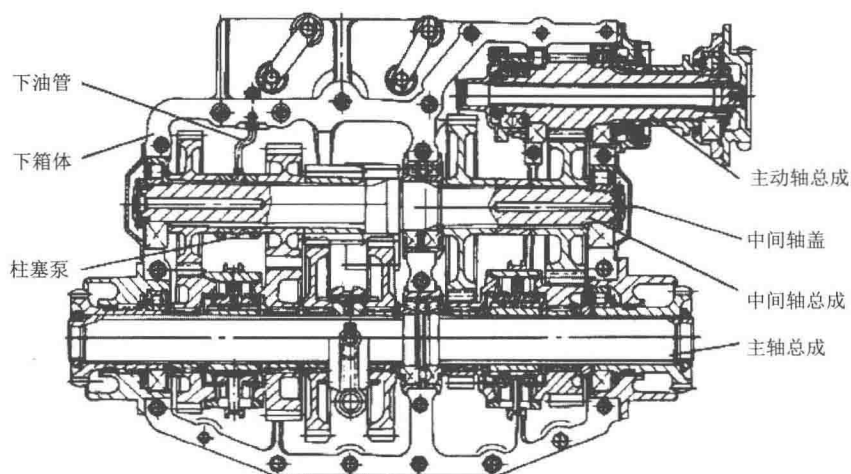


图 8-4-3 某主战坦克固定轴式变速箱

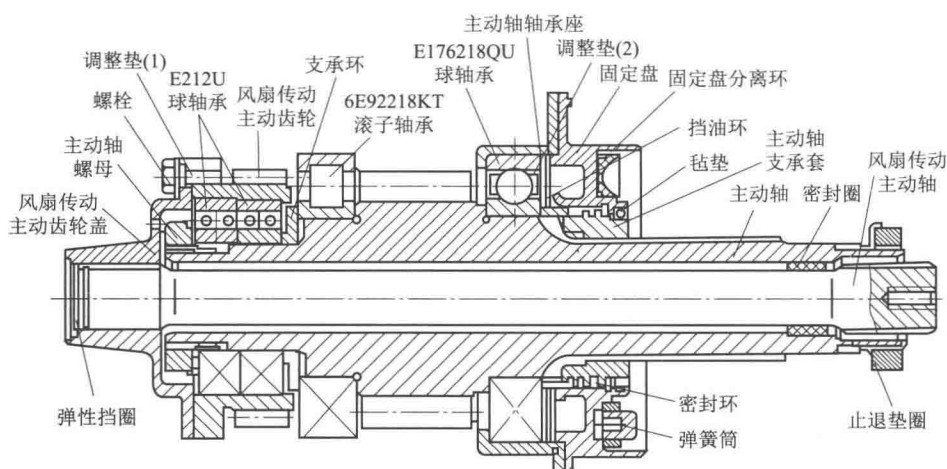


图 8-4-4 主动轴总成

通过两个 E212U 球轴承支撑着风扇传动装置的主动齿轮。风扇传动主动齿轮支撑在两个 E212U 球轴承上，用螺栓与风扇传动主动齿轮盖连为一体。风扇传动主动齿轮盖内花键孔内插着风扇传动主动轴，风扇传动主动轴穿过主动轴，右端通过花键和主离合器主动盘相连。只要发动机旋转，风扇联动齿轮就旋转。

(3) 中间轴总成

中间轴总成的作用是将主动轴传来的动力传给主轴上齿轮和倒挡轴上的倒挡齿轮，它由各挡主动齿轮、中间轴承座、圆锥滚子轴承、滚子轴承、支承套、偏心轮等组成（图 8-4-5）。

偏心轮用于带动柱塞泵进行压力润滑。

(4) 主轴总成

主轴总成的作用是将中间轴传来的动力传给两侧的行星转向机，并与中间轴上的齿轮、

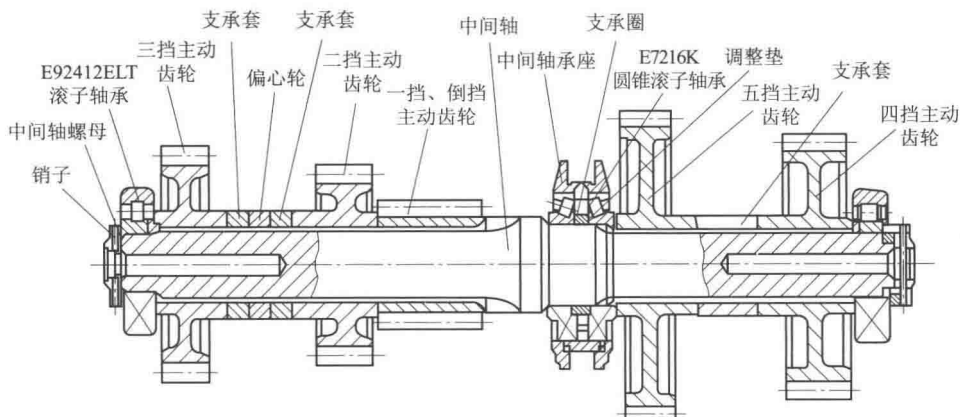


图 8-4-5 中间轴总成

变速装置及倒挡齿轮配合, 改变主轴的转速、转矩和旋向, 带动里程速度表工作。主轴总成由主轴、各挡被动齿轮、圆锥滚子轴承及轴承座、滚子轴承及轴承座、连接齿轮、滚针轴承及衬套、支承环、密封环、挡油盘及三个换挡机构和里程速度表联动装置等组成 (图 8-4-6)。

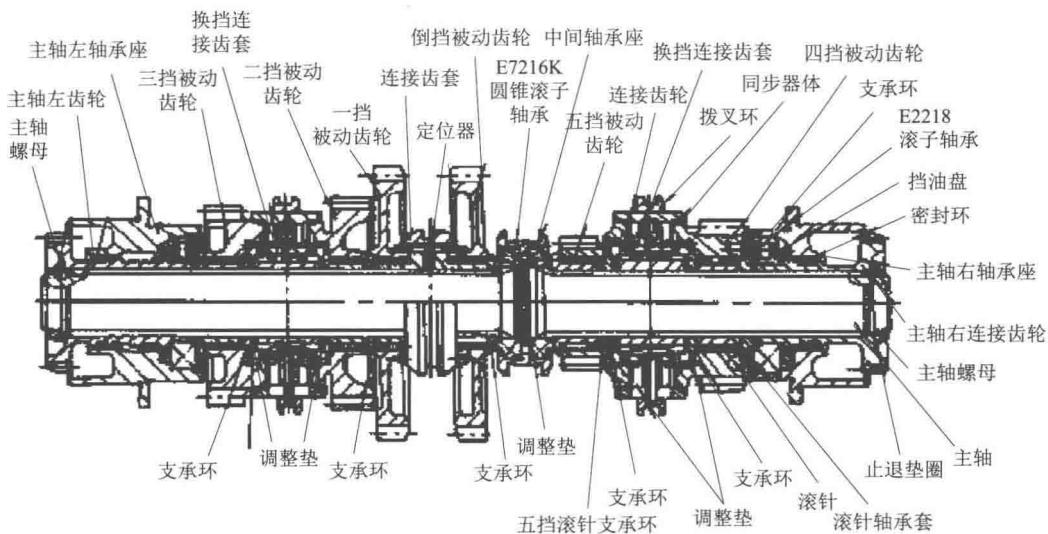


图 8-4-6 主轴总成

主轴采用三点支撑, 两端用滚子轴承、中间用两个圆锥滚子轴承支撑在箱体上。中部轴承固定, 两端游动。

(5) 倒挡轴部分

倒挡轴部分用来在变速传动中增加一次齿轮啮合, 改变主轴的旋转方向, 它由倒挡轴、倒挡齿轮、滚子轴承、支承套和固定板等组成 (图 8-4-7)。

倒挡齿轮同时与中间轴上的一挡主动齿轮和主轴上的倒挡被动齿轮相啮合。由于结构限制, 两个支撑滚子轴承没有外圈, 减小了倒挡齿轮尺寸。

(6) 换挡机构

换挡机构用来连接和切断各挡被动齿轮和主轴的联系。该主战坦克变速箱采用的换挡机构有一挡、倒挡的滑动齿套，二挡限压式同步器和三挡、四挡、五挡的惯性式同步器。

1) 滑动齿套

变速箱倒挡、一挡使用滑动齿套换挡。

滑动齿套的转速与被动齿轮的不同，滑动齿套换挡机构在换挡过程中会产生冲击，该换挡方式仅适用于变速箱中的低速挡位。

① 构造。

滑动齿套换挡机构由连接齿轮、滑动齿套和定位器组成（图 8-4-8）。

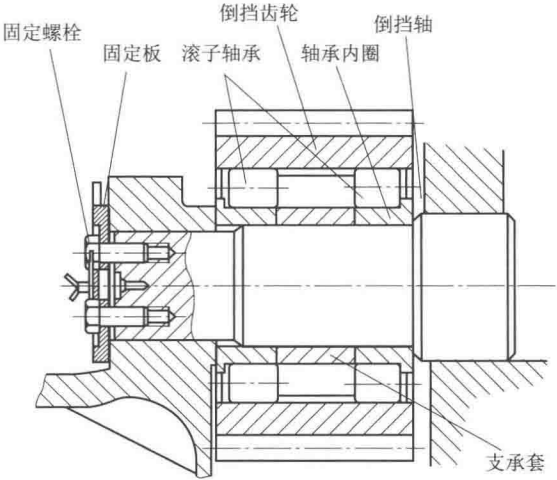


图 8-4-7 倒挡轴部分

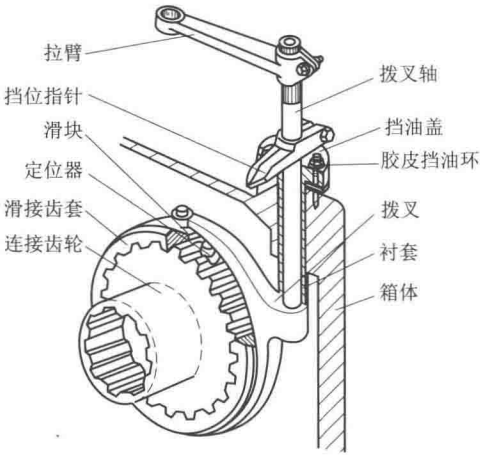


图 8-4-8 滑动齿套

连接齿轮与主轴通过内花键相连，外花键上套装着滑动齿套。在外齿两侧的圆柱表面上通过滚针支撑着一挡、倒挡被动齿轮。连接齿轮的两个径向盲孔中装有由弹簧和顶销组成的定位器。弹簧使定位销外端顶入滑接齿套的环形凹槽中，使滑接齿套保持在中间的空挡位置。

② 工作原理。

滑动齿套在空挡位置，定位器顶销外端顶在滑接齿套的内环槽中，使滑接齿套保持在空挡位置，一挡、倒挡被动齿轮仍然空转，这时发动机的动力不能传输到主轴上。

挂挡时，驾驶员通过拨叉拨动滑动齿套，克服定位器弹簧张力，使其向左或向右移动，与一挡、倒挡被动齿轮上的外齿套合，而挂上一挡或倒挡。这时，定位器顶销从滑动齿套的环形齿槽中滑出，顶在滑动齿套的内齿顶上。

2) 同步器

为了减轻或消除换挡过程中的换挡冲击，在滑动齿套换挡机构的基础上，发展了同步器换挡机构。同步器换挡机构与滑动齿套换挡机构不同之处在于，同步器中有防止滑接齿套与被套合齿轮转速达到同步之前进入套合产生相互撞击的结构。

某主战坦克上变速箱使用的同步器有限压式（又称常压式）和惯性式两种，二挡采用限压式同步器换挡，三挡、四挡、五挡采用的是惯性式同步器。

① 构造。

同步器由连接齿轮、滑动齿套、同步器体、拨叉环、四个销子、六个单头定位器 (1) 和两个双头定位器 (2) 等零件组成 (图 8-4-9)。

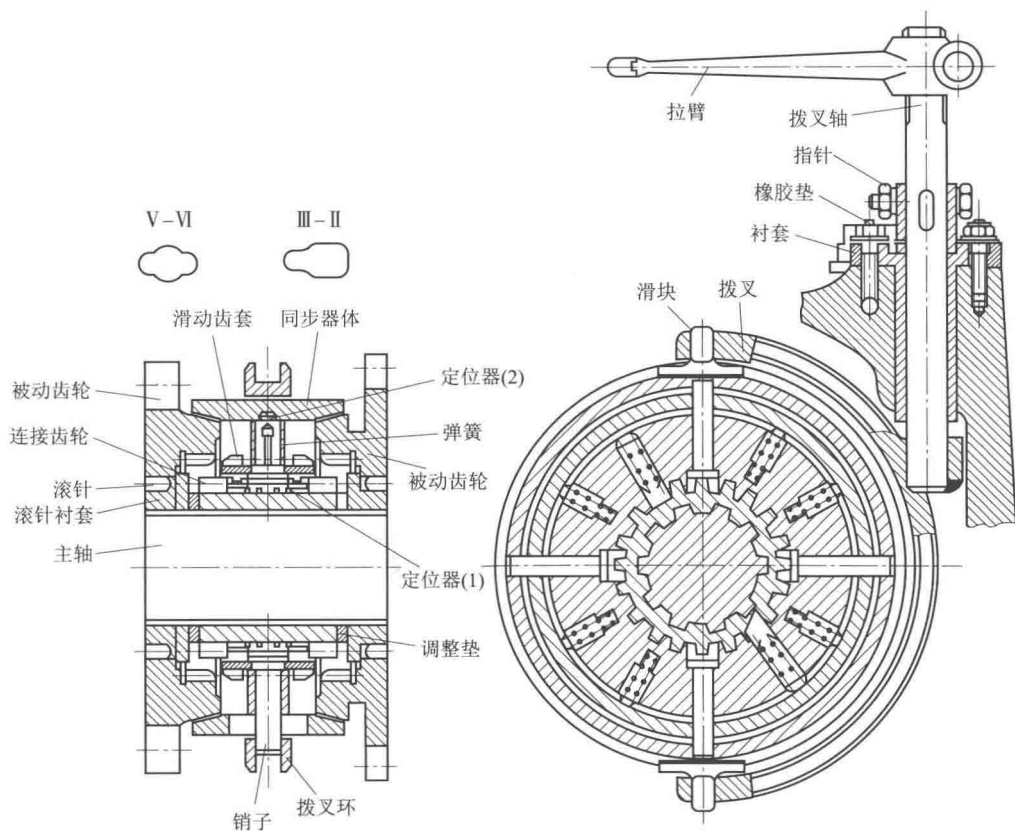


图 8-4-9 同步器

连接齿轮通过内花键套装在主轴上，外圈齿轮与滑动齿相连。在外齿中部直径处有两组各三个换挡定位用的梯形槽。

滑动齿套装在连接齿轮上，上面加工有十二个孔，即六个通孔和六个盲孔。其中，四个通孔安装销子，另两个通孔安装双头定位器，六个盲孔安装单头定位器。齿套两侧有外齿圈，挂挡时齿圈用于与被动齿轮上的内齿圈套合。

两个双头定位器和六个单头定位器的作用是确定滑动齿套位于空挡或其他传动挡位时在连接齿轮上的正确位置，它们均由弹簧筒和弹簧组成。定位器外端弹簧筒顶在同步器体内的环槽中，其作用是将换挡操作时产生的轴向力经定位器去推动同步器体实现轴向移动，限定同步器体的位置。两个双头定位器的内端弹簧筒顶在连接齿轮的梯形槽中，限定滑动齿套的位置。

同步器体套装在滑动齿套上，内环中间有环形槽，用于同步器体处于空挡状态时定位；两端有锥面，用于换挡时与被动齿轮上的锥面接触和摩擦。同步器体上还加工有四个特形槽孔。四挡、五挡同步器体为对称、有圆弧过渡的“十”字形槽孔；二挡、三挡同步器体槽孔形状似为“凸”字形。特形槽孔大端对应二挡，小端对应三挡。

拨叉环套装在同步器体上,其外圈有环槽,是滑块运动的轨道。环槽中间有四个销子孔,销子从滑动齿套内孔中装入,通过同步器体特形孔插入拨叉环孔中。

② 限压式同步器换挡原理。

同步器换挡过程就是使同步器滑动齿套的外齿与被动齿轮的内齿套合的过程。换挡时内、外齿圈的转速不同,如强行套合,会产生打齿,同步器则利用摩擦使被动齿轮与主轴之间达到同步后再套合被动内齿圈和滑动齿套外齿圈,以减小换挡过程中的冲击和打齿。

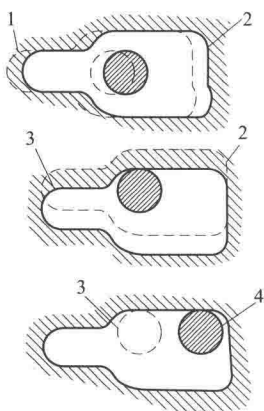


图 8-4-10 限压式同步器

同步器在空挡位置,接滑动齿套,单、双头定位器,同步器体、销子均处于连接齿轮中间位置(图 8-4-10)。同步器体锥面与两侧被动齿轮的锥面之间保持一定的间隙,滑动齿套外齿端面与两侧被动齿轮内齿外端面之间没有接触。被动齿轮在主轴上空转,同步器状态同主轴一样。四个销子与同步器体的相对位置如图 8-4-10 中 1 所示。

驾驶员挂挡时,通过操纵机构转动拨叉轴,通过拨叉、滑块、拨叉环、销子带动滑接齿套向二挡被动齿轮方向移动。首先,两个双头定位器内端的弹簧套从连接齿轮槽中出来,8 个定位器的外端弹簧套顶着同步定位器体向二挡被动齿轮方向移动。当同步器体与二挡被动齿轮之间的锥面间隙消失但是还没有紧力时,销子与同步器的相对位置如图 8-4-10 中的 2 所示。此时,滑动齿套与二挡被动齿轮内齿面尚未接触。

当同步器体的锥面和被动齿轮的锥面接触后,在推力作用下,因转速不同而开始滑摩。由摩擦产生的力矩使同步器体相对于滑动齿套超前一个角度,上面的特形孔壁紧紧压在销子的圆柱表面上(图 8-4-10 中 3)。此时,同步器体相对于滑动齿套停止转动。

驾驶员继续用力,操作推力增加摩擦力矩,使转得快的零件减速,转得慢的零件加速。直到同步器体和被动齿轮转速达到一致,即同步,推力越大,同步越快。同步后,驾驶员的推力克服八个定位器弹簧压力,外端弹簧筒从同步器体环形槽中脱出并顶在其圆柱面上,同时,滑动齿套在销子的推力作用下又继续移动与二挡被动齿轮内齿圈完全套合,完成挂挡。销子与同步器体的相对位置如图 8-4-10 中 4 所示。这时,两个双头定位器内端弹簧筒顶在连接齿轮另一梯形槽里,将滑动齿套固定在二挡位置。这样,二挡被动齿轮与主轴完成连接。

二挡常常作为起步挡,起步时同步器不转,并且与被动齿轮之间的速差很大,不易同步。为了平稳而迅速地起步,不能等待齿圈完全同步后再挂上挡。也就是说,如果驾驶员操纵力足够大,只要能够超过八个定位器弹簧力,不论滑动齿套与二挡被动齿轮是否同步,都可以使滑动齿套移动而强行挂挡,这时仍会产生打齿冲击。

由于这种结构的同步器阻止滑动齿套轴向移动的阻力是由八个定位器弹簧所产生的压力决定的,故称它为“限压式同步器”。

③ 惯性式同步器换挡原理。

空挡时的各个零件的位置与限压式同步器的相同,如图 8-4-9 所示。四个销子与同步器体的相对位置如图 8-4-11 中的 1 所示。

挂挡过程从挂挡开始,直至同步器体与被动齿轮两锥面开始摩滑的工作状况与限压式同

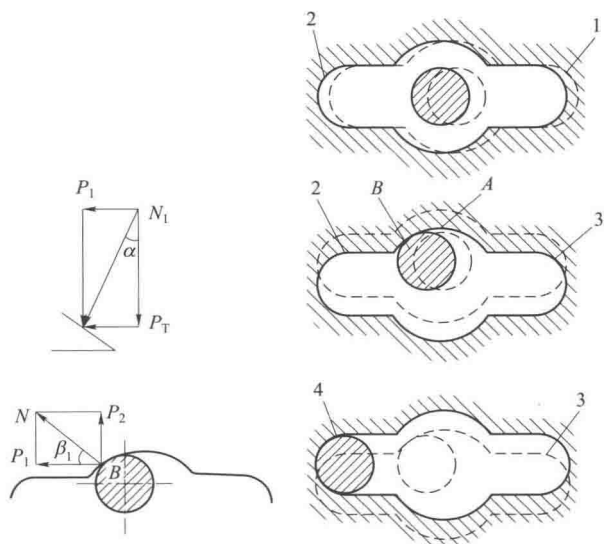


图 8-4-11 惯性式同步器

步器的相同。销子与同步器体的相对位置在消除锥面间隙时对应图 8-4-11 中的 2，而在两锥面开始摩滑时，对应图 8-4-11 中的 3 中的 A 点。驾驶员继续用力时，销子将从 A 点移动到 B 点。由于同步器体的销子孔对销子的锁止作用，滑动齿套不能再做轴向移动。这个过程中，锥面间的摩擦力矩迫使与被动齿轮相联系的所有旋转零件减速，直到与滑动齿套同步为止。

在滑摩过程中，驾驶员沿主轴方向推动销子的操纵力 P_1 通过接触 B 点传给同步器体（图 8-4-11），在销子孔的斜面上受到正压力 N 。正压力的轴向分力平衡驾驶员的轴向推力，圆周方向分力 P_2 力图推开同步器体。驾驶员的推力 P_1 经同步器体传导到摩擦锥面上，在摩擦锥面上产生正压力 N_1 ，正压力 N_1 产生的摩擦转矩与 P_2 的对主轴轴线的转矩方向正好相反。 P_2 转矩的作用是推开同步器体，试图让销子从孔中轴向滑动，而 N_1 的摩擦转矩却使同步器体压向销子，阻止销子从孔中滑出。同步前，销子孔壁斜面对销子的锁止作用是被动齿轮及与其相联系的变速箱的主动系统的所有旋转零件的惯性力造成的，故这种同步器称为惯性式同步器。同步前，为了使销子不能推开同步器体而从斜面滑出，需满足如下关系：

$$\frac{\mu P_1 r_T}{\sin \alpha} \geq P_1 r_2 \tan \beta$$

即

$$\frac{\mu r_T}{\sin \alpha} \geq r_2 \tan \beta$$

式中， r_T ——锥面上摩擦力的作用半径；

r_2 ——圆周力 P_2 的作用半径。

只要满足以上的关系，换挡过程中如果不同步，就不能完成挂挡。因此，惯性式同步器换挡时不产生冲击打齿现象。

(7) 润滑系统

为了保证箱内各零件在工作时的润滑效果，该变速箱采用了飞溅和压力混合的润滑方式。容易润滑的部位采用飞溅润滑，而一些润滑困难和润滑不良部位采用压力润滑，这些部

位主要是齿轮、同步器和滑块。润滑系统由偏心轮、柱塞泵、下油管、上油管以及上、下箱体油孔和接头螺栓等组成。

柱塞泵用四个垫块和四个螺栓安装在变速箱下箱体上，由吸油嘴、柱塞、油泵体、回位弹簧和滤油网等组成（图 8-4-12）。柱塞泵由装在中间轴二挡、三挡主动齿轮支撑套之间的偏心轮驱动。

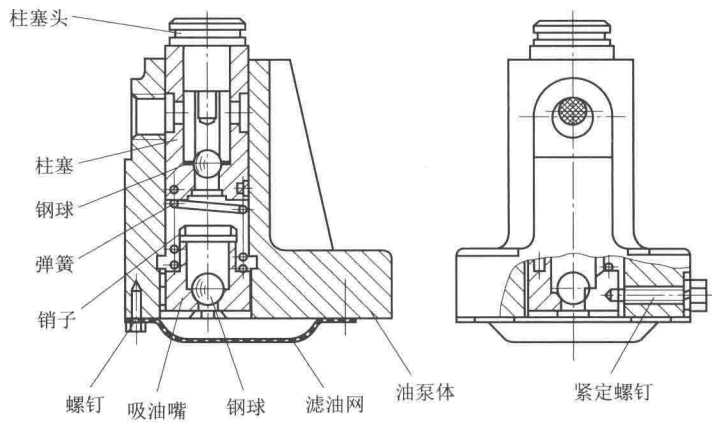


图 8-4-12 柱塞泵

(8) 风扇传动装置

1) 功用

- ① 传递动力，驱动动力舱中的冷却风扇。
- ② 对传动装置中所有零件和冷却风扇进行过载保护。
- ③ 传递空气压缩机和液压助力油泵的驱动力。

2) 构造

风扇传动装置由齿轮传动机构、球笼式联轴节和风扇离合器等组成。

① 齿轮传动机构。齿轮传动机构安装在变速箱内，由风扇传动主动轴、盖和主动齿轮、中间轴和齿轮、横轴总成、纵轴总成等部分组成（图 8-4-13）。

风扇主动轴安装在变速箱主动轴内，其前端花键插入主离合器上连接齿轮毂的花键孔内，另一端装入主动轴盖的花键孔内。

横轴小径一端的花键上装有助力油泵连接机构，以驱动油泵工作。空心的横轴内通过花键安装着传动扭杆，传动扭杆通过主动齿轮带动空气压缩机工作。

纵轴与被动圆锥齿轮制成一体，并用滚子轴承、球轴承组合支撑。圆锥齿轮副工作时产生的轴向力由球轴承来承担。结合盘与纵轴（被动齿轮轴）采用花键方式连接。

调整垫用来调整锥齿轮副的啮合间隙。

② 球笼式联轴节。某主战坦克采用的球笼式联轴节（图 8-4-14）是一种等速万向联轴器，工作时用联轴节中六个钢球传力，可在两轴最大夹角为 42°的情况下传递扭矩。球笼式联轴节前端与纵轴结合盘、后端与风扇离合器的主动毂相连。

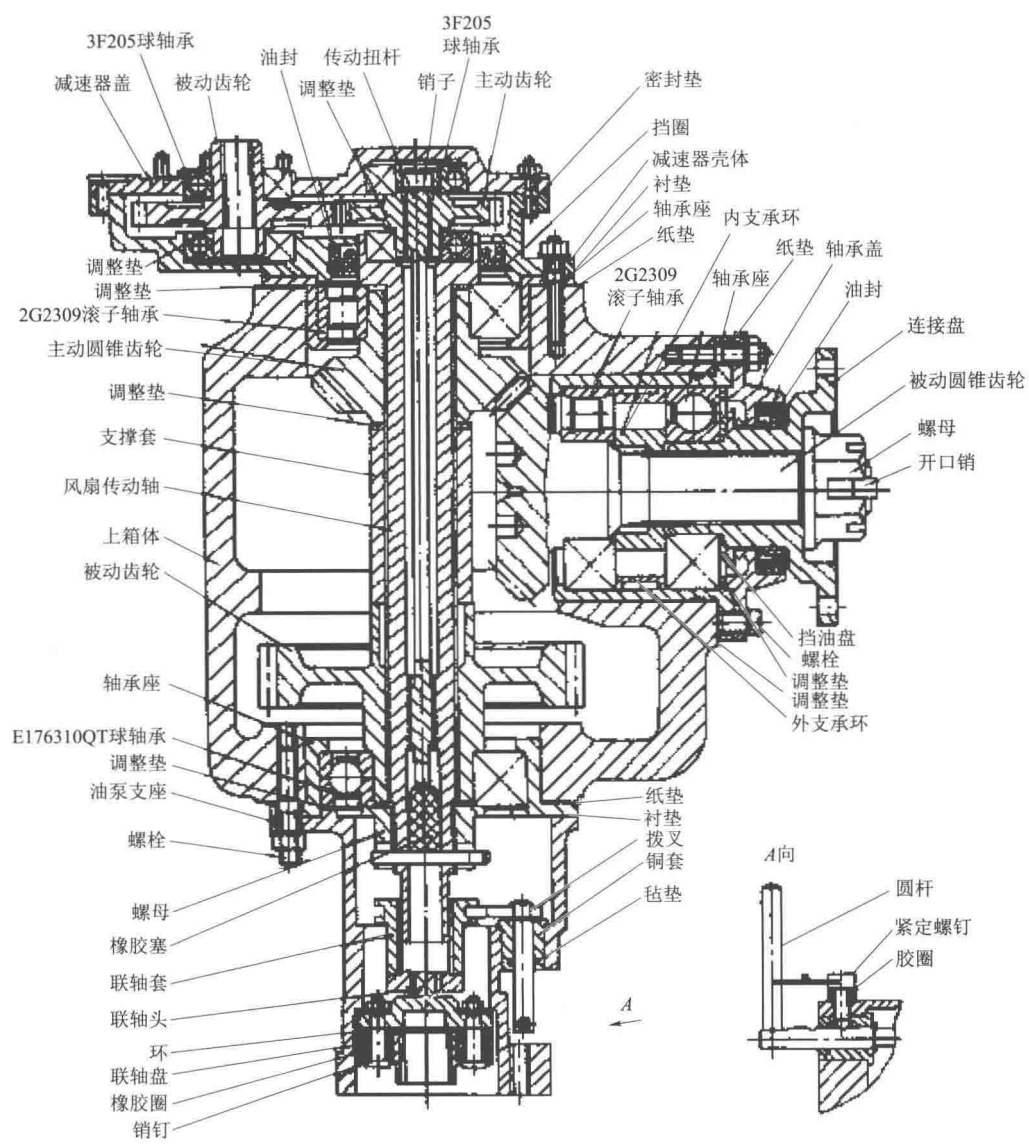


图 8-4-13 齿轮传动机构

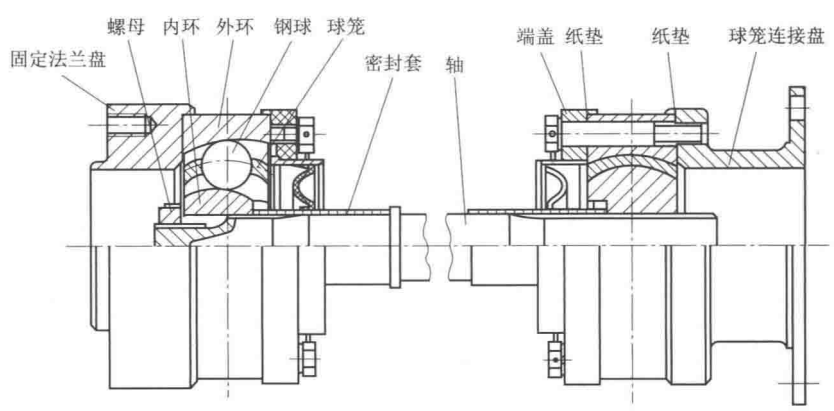


图 8-4-14 球笼式联轴节

③ 风扇离合器。风扇离合器由主动和被动两部分组成(图 8-4-15)。

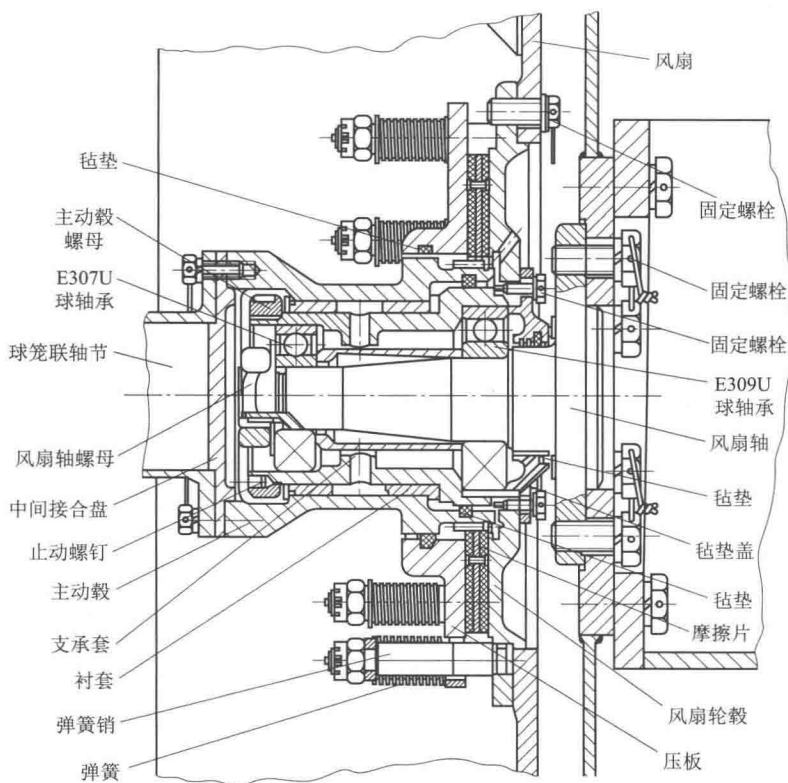


图 8-4-15 风扇离合器

主动部分由主动毂、中间接合盘和摩擦片组成。

被动部分由风扇轮毂、风扇轴、毡垫盖、两个球轴承、支承套、压板、弹簧及弹簧销、固定螺栓等组成。

风扇轮毂上加工有摩擦接合面。风扇离合器的另一个摩擦面在压板上。压板借助弹簧力将摩擦片压紧在风扇轮毂的摩擦接合面上。

发动机工作时,动力经主离合器主动部分、风扇传动主动轴和盖及齿轮、中间齿轮、横轴上被动齿轮和主动锥齿轮、纵轴上被动锥齿轮和接合盘、球笼联轴节、中间接合盘、风扇离合器主动鼓传给摩擦片,并通过摩擦力带动风扇轮毂和风扇转动。

由于风扇直径大、转动惯量大,发动机启动时,如果没有离合器,其启动阻力矩将非常大。风扇离合器限制了风扇传动的最大力矩。发动机启动时,一旦惯性力矩超过了弹簧压紧产生的摩擦力矩,摩擦片在压板和风扇轮毂间打滑,从而保证了风扇传动装置中机件的安全。当惯性力矩小于弹簧压紧产生的摩擦力矩时,摩滑停止,装置进入正常的动力传递工作。发动机工作正常后,如果风扇发生故障,阻力矩增大并且超过离合器的限定转矩,离合器打滑,保护传动部件和发动机。

(三) 某轮式装甲车变速箱

轮式装甲车辆变速箱目前采用定轴式和组合式变速箱,其中组合式较多。我国某 6×6

轮式装甲车传动布置如图 8-1-14 所示，其变速传动简图如图 8-4-16 所示。组合式变速箱安装在分动箱右前方，变速箱的输出为分动箱的输入。

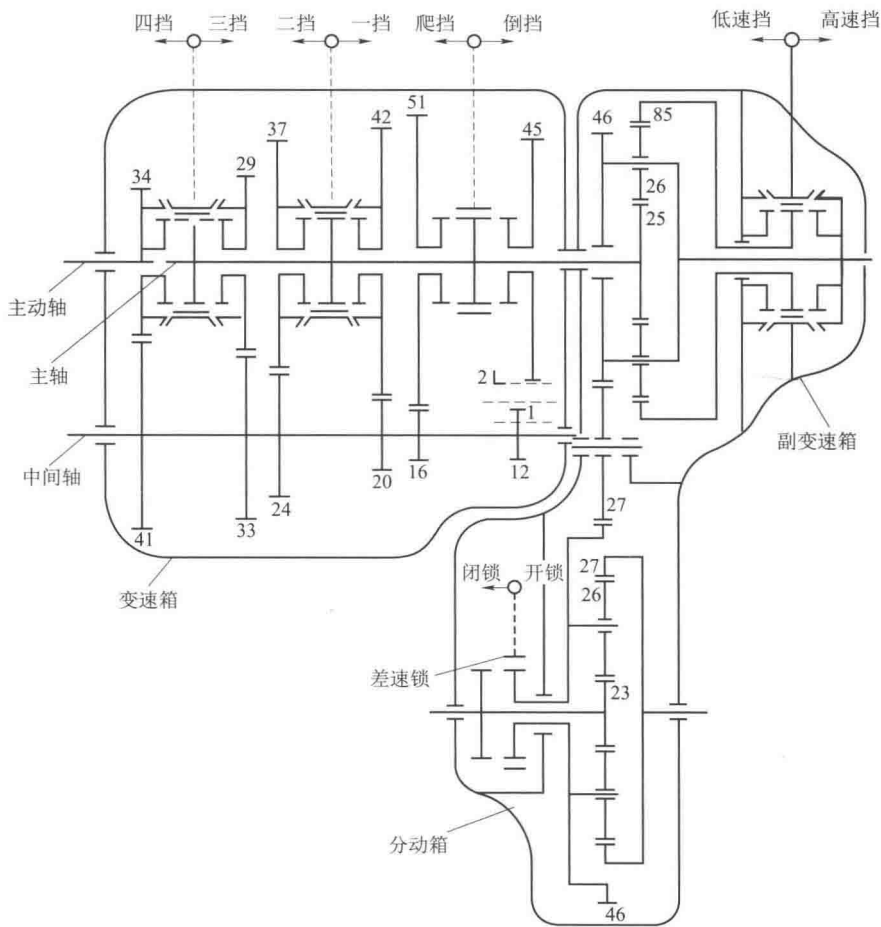


图 8-4-16 轮式车辆变速箱传动简图

1. 工作原理

该变速箱由定轴式主变速箱和行星式副变速箱组成，主变速箱有五个前进挡（一个为爬行挡）和一个倒挡；副变速箱有两个挡位，共可以组成九个前进挡（含一个爬行挡）和一个倒挡。主变速箱在一挡至四挡时和副变速箱的低速挡组成一挡到四挡的低速挡，和副变速箱的高速挡组成五挡到八挡的高速挡。变速箱的爬行挡和倒挡，只能和副变速箱的低速挡组合传动。

(1) 副变速箱挡位

副变速箱由一个简单行星排和一个同步器组成。

这里先介绍行星排的传动速度关系。

行星排由太阳齿轮、齿圈、行星齿轮及行星架几部分组成（图 8-4-17）。行星轮通过行星轮轴安装在行星架上，外与齿圈啮合，内与太阳齿轮啮合。以行星架为参考系，太阳轮到齿圈的传动仍可看作定轴传动。

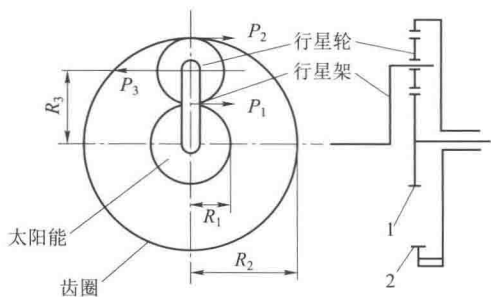


图 8-4-17 简单行星排

假定 n_t 、 n_q 、 n_j 、 n_x 分别表示太阳齿轮转速、齿圈转速、行星架转速、行星轮转速， Z_t 、 Z_q 、 Z_x 分别表示太阳轮齿数、齿圈齿数、行星轮齿数，则以下关系成立：

$$\frac{n_t - n_j}{n_q - n_j} = -\frac{Z_x}{Z_t} \cdot \frac{Z_q}{Z_x} = -\frac{Z_q}{Z_t} = -k$$

即

$$n_t + kn_q - (1+k)n_j = 0$$

这是行星排的基本运动学关系式，适用于任何运动状态。

负号表示太阳齿轮与齿圈相对于行星架的转动方向相反。 k 称为行星排的特性参数。

从上面的公式可以看出，从太阳轮、行星架、齿圈三个构件中任选两个作为输入件和输出件，另一个为控制件，则行星排就有确定的传动。下面简单介绍几种情况：

① 太阳轮输入，行星架输出，齿圈固定。根据上式，则有

$$i = \frac{n_t}{n_j} = 1+k$$

② 太阳轮输入，行星架输出，齿圈与行星架闭锁在一起。根据上式，则有

$$i = \frac{n_t}{n_j} = 1$$

③ 齿圈输入，行星架输出，太阳轮固定。根据上式，则有

$$i = \frac{n_q}{n_j} = 1 + \frac{1}{k}$$

④ 太阳轮输入，齿圈输出，行星架固定。根据上式，则有

$$i = \frac{n_t}{n_q} = -k$$

还有其他几种组合，这里就不一一介绍。①、③两种情况可以实现减速传动，②情况可以实现直接挡传动，④情况可以实现倒挡。

图 8-4-17 中，当副变速箱的同步器拨向左边时，齿圈制动，太阳轮输入，行星架输出，此时为低速挡，传动比为 $1+k=3.43$ ；当同步器拨向右边，齿圈与行星架闭锁在一起，太阳轮、行星架和齿圈一起旋转，此时是高速挡，传动比为 1。

(2) 主变速箱挡位

主变速箱为同轴式变速箱，两个同步器在中间位置时变速箱为空挡，其中一个同步器换入某一边，就挂上某个挡位。各个挡位传动比如下：

$$\text{爬挡: } i_{C'} = \frac{41}{34} \times \frac{41}{13} = 3.803$$

$$\text{一档: } i_{1'} = \frac{41}{34} \times \frac{45}{21} = 2.584$$

$$\text{二挡: } i_{2'} = \frac{41}{34} \times \frac{38}{25} = 1.833$$

三挡: $i_{3'} = \frac{41}{34} \times \frac{33}{29} = 1.372$

四挡: $i_{4'} = 1$

倒挡: $i_{R'} = -\frac{41}{34} \times \frac{13}{13} \times \frac{37}{13} = -3.432$

(3) 变速总传动比

主变速箱挂不同的挡位时, 与副变速箱的高低挡进行组合后, 得到的变速箱挡位见表 8-4-1。

表 8-4-1 变速箱挡位

挡位	主箱挡位	副箱挡位	传动比计算	传动比
爬挡	爬挡	低挡	$i_{C'} = \frac{41}{34} \times \frac{41}{13} \times 3.43$	13.045
一档	一档	低挡	$i_{1'} = \frac{41}{34} \times \frac{45}{21} \times 3.43$	8.863
二挡	二挡	低挡	$i_{2'} = \frac{41}{34} \times \frac{38}{25} \times 3.43$	6.287
三挡	三挡	低挡	$i_{3'} = \frac{41}{34} \times \frac{33}{29} \times 3.43$	4.707
四挡	四挡	低挡	$i_{4'} = 1 \times 3.43$	3.803
五挡	一档	高挡	$i_{1'} = \frac{41}{34} \times \frac{45}{21} \times 1$	2.584
六挡	二挡	高挡	$i_{2'} = \frac{41}{34} \times \frac{38}{25} \times 1$	1.833
七挡	三挡	高挡	$i_{3'} = \frac{41}{34} \times \frac{33}{29} \times 1$	1.372
八挡	四挡	高挡	$i_{4'} = 1 \times 1$	1
倒挡	倒挡	低挡	$i_{R'} = -\frac{41}{34} \times \frac{13}{13} \times \frac{37}{13} \times 3.43$	-11.772

2. 结构

该组合式变速箱由定轴式主变速器、行星式副变速器、锁环式惯性同步器组成(图 8-4-18)。

变速器位于前传动箱之后, 与其固连后一起安装在支架上。主、副变速器之间用螺栓连接成一体, 再通过万向传动装置分别与前桥和中桥连接。

(1) 主变速器

主变速器的变速传动机构与一般常啮合齿轮式变速器类似, 由第一轴总成、中间轴总成、主轴(第二轴)总成、倒挡轴总成和箱体组成。

1) 第一轴总成

第一轴也称主动轴, 即前传动箱的输入轴。主动轴与主动齿轮制成一体, 由两个圆锥滚

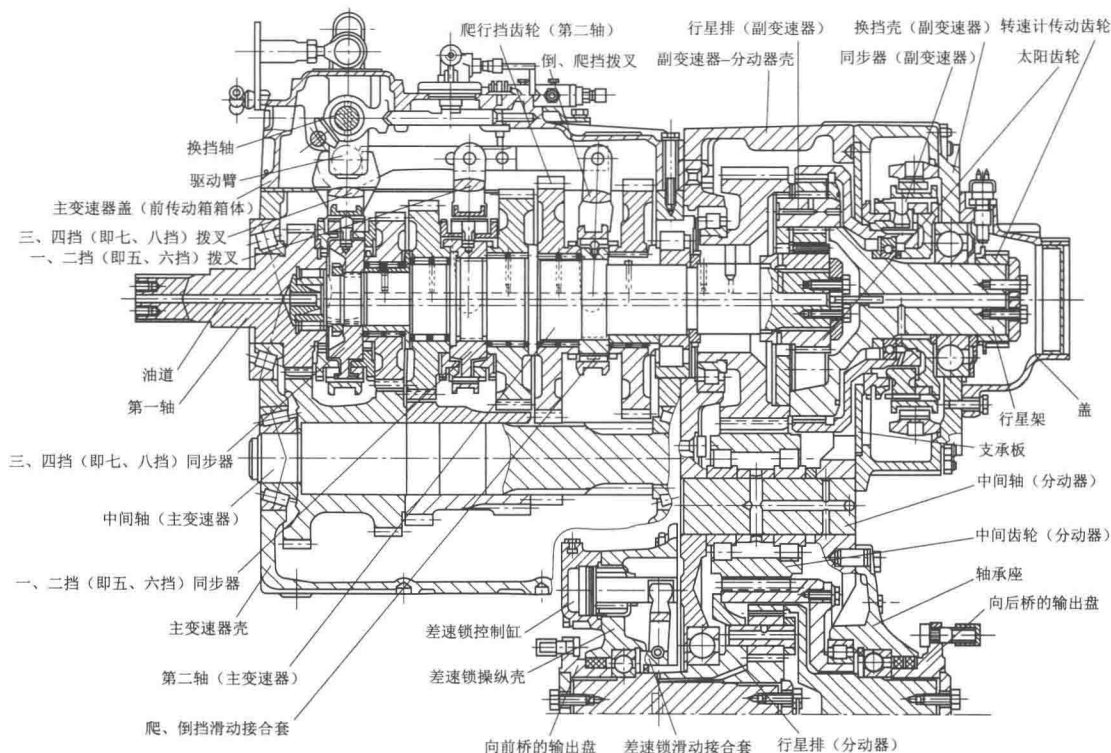


图 8-4-18 轮式车辆变速箱

子轴承支承，一端支承在前传动箱的箱体上，另一端支承在主变速箱箱体的相应座孔上。

2) 中间轴总成

中间轴总成由一档、二挡、三挡双联斜齿轮和倒挡齿轮、爬挡齿轮、中间轴、轴承、调整垫、挡油盘等组成。

3) 第二轴总成

第二轴总成也是主轴总成，由主轴、各挡常啮合齿轮、换挡同步器、换挡齿套、轴承、滚针轴承、卡环、锁环、锁圈和油管等组成。

在第二轴上，二挡、一档、爬行挡被动齿轮通过双排、无套圈、带保持架的滚针轴承支承在主轴上。三挡和倒挡被动齿轮通过双排、无套圈、带保持架的滚针轴承支承在滚针衬套上，滚针衬套压装在轴上。在三挡被动齿轮和主动轴上的主动齿轮之间，以及一档和二挡被动齿轮之间装有换挡同步器；在爬行挡和倒挡之间装有换挡连接器。

4) 同步换挡机构

主变速箱的爬行挡和倒挡换挡采用滑动齿套换挡机构，其结构与前述主战坦克定轴变速箱的一挡和倒挡滑动齿套换挡基本相同，这里不再重复介绍。其余各挡换挡采用的是锁环式同步器。

① 构造。图 8-4-19 所示为主变速器三挡、四挡锁环式同步器。

锁环式同步器由齿毂、滑接齿套、同步锁环、锥盘、定位弹簧、定位销等组成。

齿毂通过内花键套在第二轴上，轴向由螺母限位；外齿圈与接合套配合，轴向可滑动。

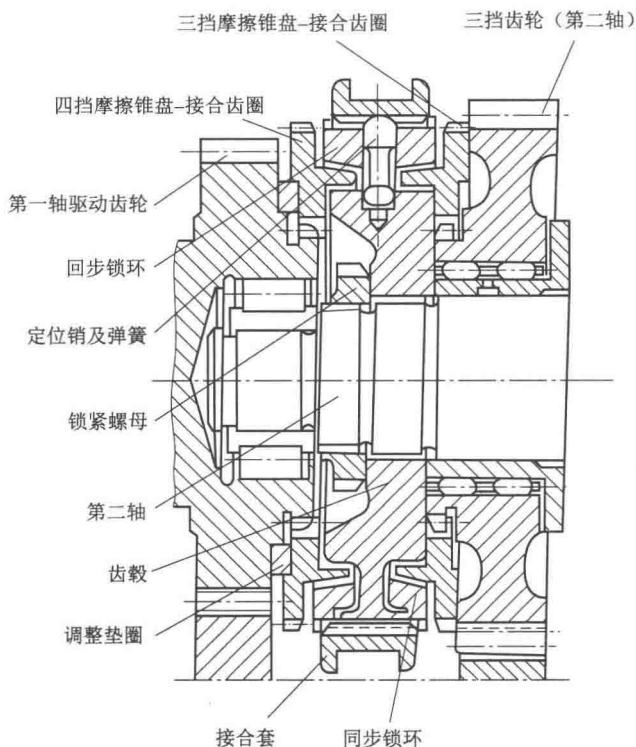


图 8-4-19 锁环式同步器

齿毂两侧与相邻的常啮齿轮之间各有一个同步锁环和一个锥盘。摩擦锥盘通过内齿与相应的常啮齿轮的齿圈套合；其外锥面可与同步锁环内摩擦锥面相配合；另外，齿圈可与同步器接合套套合。同步锁环沿圆周方向均布有三个凸齿，凸齿与齿毂上相应的径向较宽凹槽相配合。在凹槽里各插有两个定位弹簧和一个定位销，定位销的两侧面与锁环凸齿邻接，其顶端位于接合套内表面的定位凹槽内，用来确定空挡时接合套与齿毂之间的正确位置；换挡时，接合套可带动定位销推挤同步锁环，使其内锥面与相应挡的摩擦锥盘压紧。同步锁环沿圆周方向加工有锁止用齿圈，其齿形及尺寸均与齿毂、摩擦锥盘上的接合齿圈相同，其齿端和接合套齿圈齿端具有相同的倒角，二者倒角斜面互相接触，可组成一对锁止面。在同步之前，此锁止面可阻止接合套前移，避免发生撞击。

接合套内圆周表面均匀布置的三个止动凸齿用来限制换挡时接合套的行程。接合套以及摩擦锥盘的接合齿圈均制成倒梯形，以防传动时自动脱挡。

② 工作原理。锁环式同步器也是一种惯性式同步器，其工作原理如下：

假设主变速器欲由三挡换入四挡（直接挡）（图 8-4-20）。

图 8-4-20（a）表示同步器接合套刚从三挡退到空挡的情况。齿轮和接合套、锁环都在惯性作用下继续沿原方向旋转。设齿轮、锁环、接合套的转速分别为 n_1 、 n_2 、 n_4 ，此时有 $n_4 = n_2$ ， $n_1 > n_4$ ，故 $n_1 > n_2$ 。此时为空挡位置，锁环内锥面与齿轮外锥面不接触，如图 8-4-20（a）中两条虚线所示。如挂入四挡，用拨叉拨动接合套，带动滑块一起向左移动。滑块左端面与锁环缺口内的端面接触时，便推动锁环移向齿轮，两锥面接触。由于 $n_1 > n_2$ ，两锥面间在压力作用下产生摩擦。锁环相对于接合套超前转过一定角度，到锁环缺口的另一侧面与滑块接

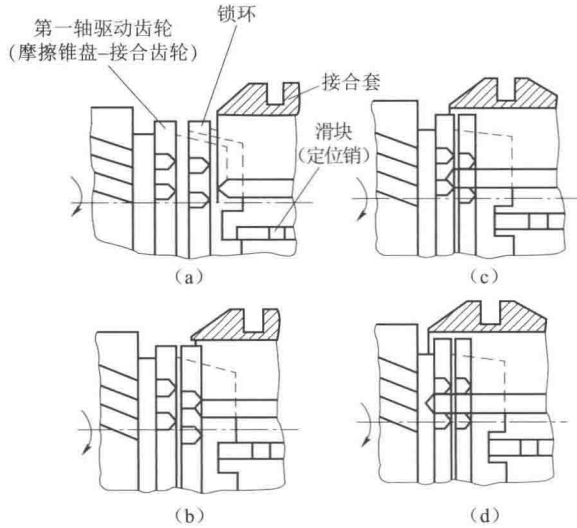


图 8-4-20 锁环式惯性同步器工作示意图

触时，锁环与接合套同步转动。由于滑块已紧靠锁环 2 缺口的一侧，锁环上各齿均相对于接合套内齿间错开了约半个齿厚，接合套齿端倒角与锁环相应的齿端倒角正好互相抵触，如图 8-4-20 (b) 所示。

分析此时接合套和锁环的受力情况（图 8-4-21）。

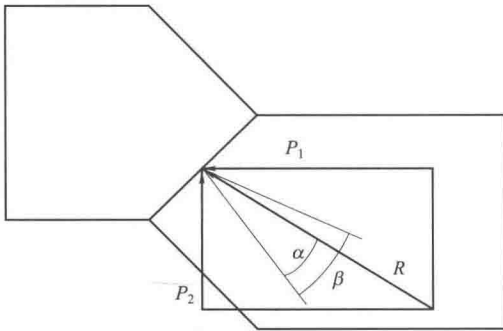


图 8-4-21 同步前锁环与接合套齿端受力

驾驶员操纵变速杆时，通过操纵机构的传递由接合套施加到锁环齿端倒角上的轴向作用力为 P_1 ；接合套及与之相连的机件在被加速的过程中产生惯性力，该力即为 P_2 ，通过接合套与锁环的齿端倒角而作用在锁环齿上。锁环与接合套齿端倒角上 P_1 和 P_2 的合力 R 与倒角斜面垂线之间的夹角为 α 。当 α 小于摩擦自锁角 β 时，只要摩擦锥面之间存在摩擦力，接合套的齿就无法推开锁环与接合齿圈套合。如加大轴向推力 P_1 ，引起

摩擦锥面间的摩擦力矩按比例增大， P_2 也随之按相应比例增加，此时 α 值不变，仍小于 β ，同步器仍然无法挂挡，而加大推力 P_1 只是缩短了同步的时间。在同步器设计过程中， α 值通过合理选择摩擦锥面的锥角和锁环、接合套齿端倒角来确定的。

当齿轮和接合套同步后，接合套及与之相连的机件的加速过程终止， P_2 消失， P_1 与齿端倒角斜面的垂线之间的夹角远远大于摩擦自锁角。此时，驾驶员施加很小的力便可使锁环和齿轮等机件相对于接合套回退一个小角度；同时，接合套齿端便沿着锁环齿端的倒角斜面滑入锁环齿间，穿过齿间与齿轮的接合齿圈相套合，达到无冲击地挂入新挡位（图 8-4-20 (d)）。

(2) 副变速箱

副变速器由单行星轮、单排行星机构和换挡同步器组成，具有低速挡和高速挡两个挡

位，用锁环式惯性同步器换挡，并由太阳轮输入、行星架输出。副变速器与分动器组成一体，用螺栓与主变速器连接（图 8-4-22）。

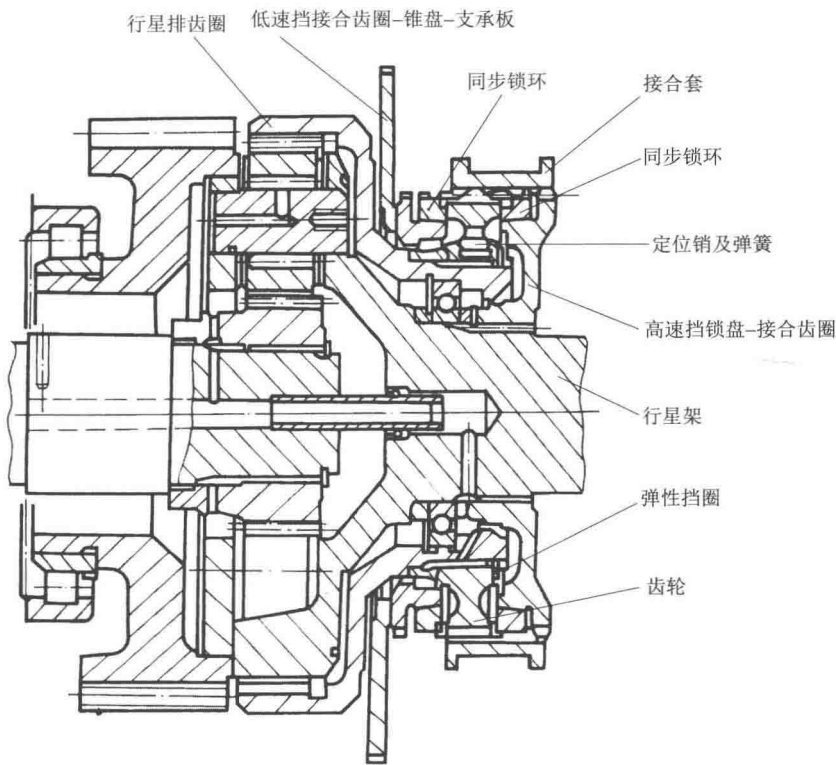


图 8-4-22 副变速器与锁环式惯性同步器

1) 行星排

整个行星排经行星架两端的轴承支承于副变速器壳和换挡壳相应座孔。太阳齿轮通过花键与主变速器的第二轴配合，并通过螺栓与止推垫轴向压紧。五个行星齿轮分别通过滚针轴承及其支承轴沿圆周均匀地支承于行星架上。齿圈经由固定在其内孔的向心球轴承支承于行星架的轴颈上，轴承外圈由固定在齿圈内面切槽的弹性挡圈轴向限位，内圈与其他零件用轴端止推垫及螺栓轴向压紧。副变速器将动力经行星架上的斜齿轮传给分动器。

在行星架轴及行星齿轮轴上均钻有中心油道及径向油道。太阳齿轮上也钻有径向油道，以便向行星齿轮轴油道提供润滑油。行星架轴中心油道前端经油管与主变速器第二中心油道相连通。

2) 同步器

同步器总成通过齿毂的内花键与齿圈的后轴颈配合。低速挡锥盘与支承板焊接成一体，支承板以圆周上的定位凸起与副变速器壳接合端面上的定位孔配合，并轴向压紧。高速挡锥盘通过花键与行星架轴配合。该同步器的工作原理与主变速器的锁环式同步器（图 8-4-22）相同。

3. 变速箱润滑

变速器和前传动箱、后传动箱采用压力-飞溅复合式润滑。整个压力润滑系统主要由油箱、外啮合油泵、散热器、吸入管、喷射管、滤网，以及位于壳体和各轴上的油道组成（图 8-4-23、图 8-4-24）。

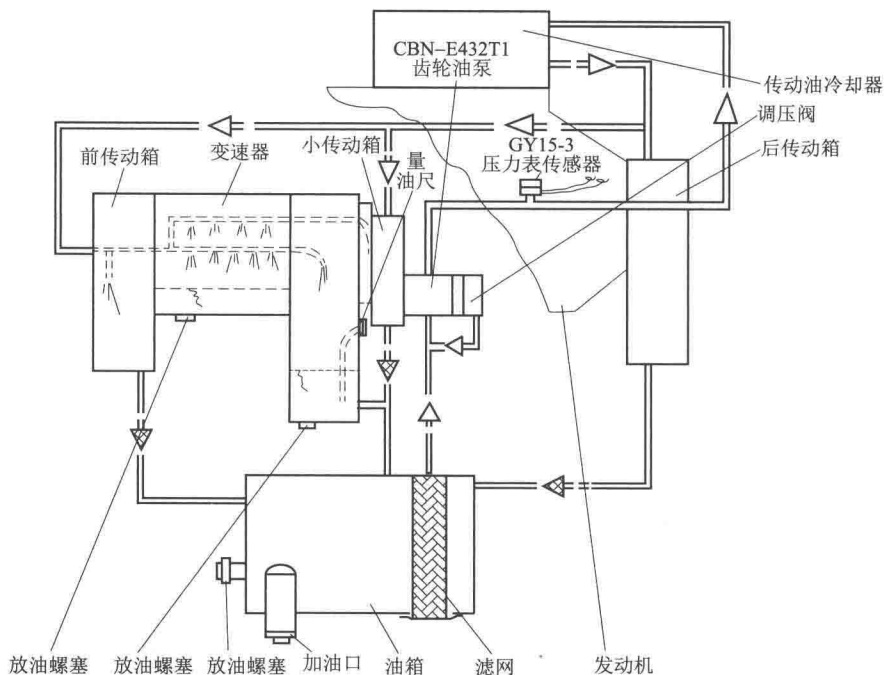


图 8-4-23 主副变速箱、前后传动箱润滑系统

润滑系统的油路有三路。小传动箱带动的齿轮泵从油箱中抽出润滑油，润滑油再流入散热器，经冷却后分三路流入各传动箱及变速器。

其中，一路润滑油进入后传动箱，通过飞溅方式润滑箱内齿轮和轴承等零件；一路润滑油进入小传动箱，润滑箱内的轴承和齿轮；第三路润滑油进入前传动箱和变速器、副变速器、分动器，润滑齿轮、轴承和换挡机构。

主、副变速器的润滑油路主要包括下列三条：

第一条润滑油路主要保证第一轴上的轴承及中间轴前轴承等机件的润滑。润滑油经节流孔进入第一轴上的油路，润滑第一轴上轴承，然后经前箱体上的回油槽及中间轴前轴承流回主变速器体的油池。

第二条润滑油路主要保证变速器的第二轴各常啮合齿轮支承轴承和副变速器行星排各齿轮与轴承的润滑。

润滑油经前传动箱端盖和挡油板之间构成的油道进入第一轴中心油道、第二轴中心油道、副变速箱行星架轴的中心油道，沿着各中心油道及和各径向油道到达各润滑部位。

第三条润滑油路主要保证第二轴及中间轴有关齿轮、取力器、倒挡轴等轴承及有关零件的润滑。

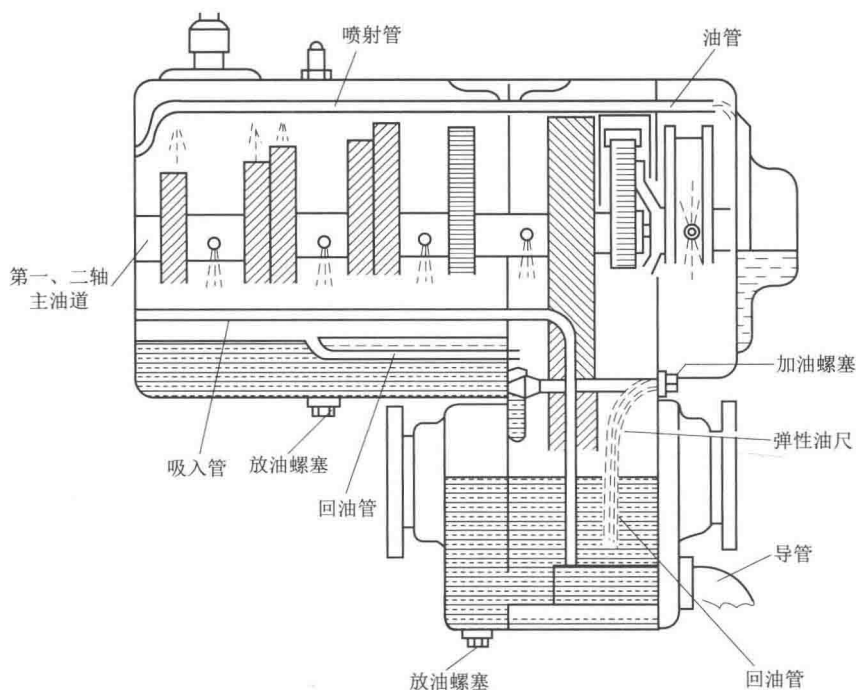


图 8-4-24 变速箱润滑示意图

三、行星变速箱

(一) 概述

坦克装甲车辆所传递功率超过 800 kW 时，定轴式变速箱将在体积、重量、可靠性方面受到限制。因此，传递功率较大时，一般采用行星式变速箱。

英国在其 1904 年生产的汽车上首次使用了利用离合器和制动器等摩擦元件进行变速的行星变速箱，美国于 1907 年在福特 T 形汽车上大量使用行星变速箱。目前，坦克装甲履带车辆的传动系统中广泛采用行星变速箱。

行星变速箱相较于定轴式齿轮变速箱有着结构紧凑、载荷容量大、传动效率高、齿间负荷小、结构刚度好的特点，并且输入、输出轴同轴，便于实现动力与自动换挡。近代自动变速箱绝大多数采用行星式。

1. 行星传动

传动结构中包含有绕中心轴周转的行星齿轮的传动机构，简称为行星传动。

在行星传动机构中，由行星齿轮连接起来的太阳齿轮、齿圈和行星架等几个基本构件，通过相互组合连接可以构成多种行星机构。在坦克装甲车辆中，行星传动机构可用作传动系中差速器、减速器或者功率的分流、汇流机构以及传动系中的增速、减速机构。增加控制元件（如制动器和离合器）后，行星传动机构还可以组成各种行星变速机构。

2. 类型

行星变速箱通常由多个单行星排组合而成，单行星排有不同的形式。

(1) 基本行星排

各种形式行星传动机构都是由基本行星排组成的。行星排都具有行星架、太阳轮、齿圈三个元件，元件对外联系工作。行星轮不算作元件，只做内部联系。行星轮是构成行星排的内在核心，有单星、双星和双联行星三种，共可形成七种基本行星排（图 8-4-25）。

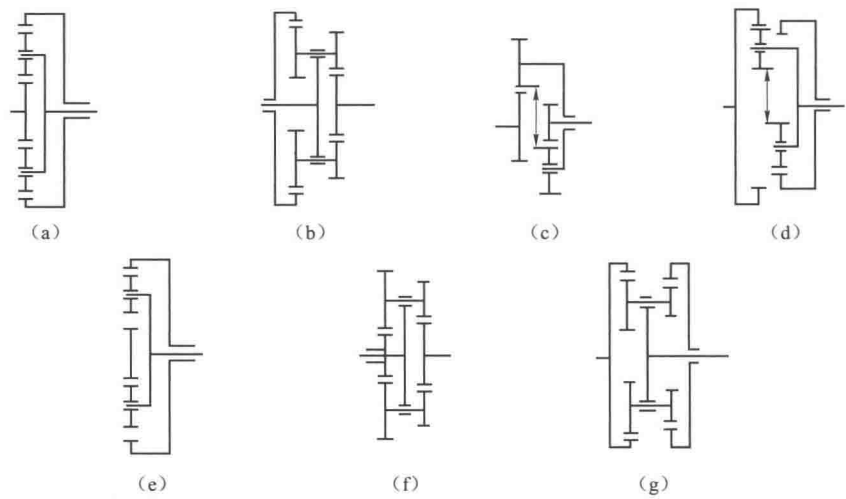


图 8-4-25 基本行星排

(a) 内外啮合单星排（普通排）；(b) 内外啮合双联排；(c) 外啮合双星排；(d) 内啮合双星排；
(e) 内外啮合双星排；(f) 外啮合双联排；(g) 内啮合双联排

前节某轮式装甲车副变速箱即采用行星变速，其行星排是坦克装甲车辆上常用的内外啮合单星排（排）。太阳轮、齿圈、行星架转速满足下式：

$$n_t + kn_q - (1 + k)n_j = 0$$

当行星架不转，太阳轮和齿圈旋转方向相反时，则该行星排称为异向行星排；当行星架不转，太阳轮和齿圈旋转方向相同时，则该行星排称为同向行星排。

七种行星排速度特性见表 8-4-2。

表 8-4-2 基本行星排特性表

行星排名称		k 值定义	k 值范围	速度关系式
异向机构	内外啮合单星排	$\frac{Z_q}{Z_t}$	1.5~4	$n_t + kn_q - (1 + k)n_j = 0$
	内外啮合双联排	$\frac{Z_{x1}}{Z_t} \cdot \frac{Z_q}{Z_{x2}}$	1~7	$n_t + kn_q - (1 + k)n_j = 0$
	外啮合双星排	$\frac{Z_{i2}}{Z_{i1}}$	0.37~2.7	$n_{i1} + kn_{i2} - (1 + k)n_j = 0$
	内啮合双星排	$\frac{Z_{q2}}{Z_{q1}}$	0.45~2.2	$n_{q1} + kn_{q2} - (1 + k)n_j = 0$

续表

行星排名称		k 值定义	k 值范围	速度关系式
同向机构	内外啮合双星排	$\frac{Z_q}{Z_l}$	1.7~4	$n_{t1}-kn_q-(1-k)n_j=0$
	外啮合双联排	$\frac{Z_{x1}}{Z_{t1}} \cdot \frac{Z_{t2}}{Z_{x2}}$	0.25~4	$n_{t1}-kn_{t2}-(1-k)n_j=0$
	内啮合双联排	$\frac{Z_{x1}}{Z_{q1}} \cdot \frac{Z_{q2}}{Z_{x2}}$	0.55~1.8	$n_{q1}-kn_{q2}-(1-k)n_j=0$

(2) 行星变速机构

行星变速机构是构成各种形式行星变速箱的基本要素。按自由度划分，行星变速机构可分为二自由度机构、三自由度机构和四自由度机构。

二自由度机构是操作一个构件减少一个自由度，得到具有一定传动比的一个挡。该机构适于二至五挡范围。前面的某轮式装甲车副变速箱即是二自由度行星机构。

三自由度机构是操作两个构件，减少二个自由度，得到具有一定传动比的一个挡。三自由度机构可以有串联式、换联式和拆联式三种组成形式。

串联式由两个二自由度变速机构串联而成。两个二自由度即四个自由度，但是串联的前一机构的输出轴与后一机构的输入轴相连，两轴合成一个内部连接件后减少了一个自由度，当操作两个构件时才能获得一个挡，因此称为三自由度机构。

换联式是在二自由度机构的输入或输出轴处断开，在断开处增加一个离合器后形成的变速机构，即用两个离合器来更换机构的输入、输出路线，从而增加新传动比。

拆联式是每个行星排不变，但用离合器将连接排与排元件之间的内部构件一分二或合二为一，以形成新的二自由度机构和新的传动比。

四自由度机构是操纵三个构件，减少三个自由度，才能得到一个自由度的传动比。四自由度机构的特征是它具有三个离合器。目前，四自由度变速机构都是在三自由度机构上再串联一个二自由度机构而成的，该机构适于八至十挡。

(二) 行星变速箱

1. 二自由度变速箱

(1) 三挡变速箱

某坦克的二自由度行星变速箱的工作原理如图 8-4-26 所示，它由两个行星排、两个换挡制动器和一个闭锁离合器（L）组成，有两个前进挡和一个倒挡。图中 i 轴是动力输入轴，o 轴是动力输出轴，可以双向输出。当换挡制动器和闭锁离合器都松开时，变速箱处于空挡状态。此时变速箱被 i 轴带动空转，o 轴无动力输出。

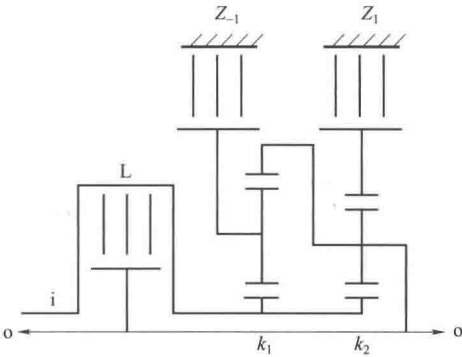


图 8-4-26 某坦克的二自由度行星变速箱

1) 换挡离合器和换挡制动器

不同于前面采用同步器换挡的定轴变速箱, 行星变速箱采用换挡离合器和换挡制动器。一般来说, 换挡离合器是可操纵湿摩擦式, 工作原理同主离合器的一样, 即利用主被动摩擦片之间的摩擦来传递动力; 换挡制动器也是可操纵湿摩擦式, 与换挡离合器不同于的是, 换挡制动器的被动部分是静止的, 而其工作原理是利用主被动摩擦片之间的摩擦来制动某个构件。

2) 一档

当一档制动器 Z_1 制动, 闭锁离合器 L 和倒挡制动器 Z_{-1} 松开时, 变速箱是一挡工作状态。此时左侧行星排空转, 右侧行星排的齿圈被制动, 动力由 i 轴输入, 行星排的太阳轮带动行星架和输出轴减速转动。

齿圈被制动, $n_{q2}=0$, 由行星排基本运动学关系式

$$n_{i2} + k_2 n_{q2} - (1 + k_2) n_{j2} = 0$$

可求出一挡的传动比为

$$i_1 = \frac{n_{i2}}{n_{j2}} = 1 + k_2 = 1 + \frac{66}{22} = 4$$

3) 二挡

当闭锁离合器 L 结合, 一档制动器 Z_1 、倒挡制动器 Z_{-1} 松开时, 变速器为二挡工作状态。此时, 闭锁离合器将输入轴和输出轴闭锁为一体, 其传动比为 1。

在行星排中, 只要两个构件的转速相同, 那么第三个构件的转速一定与其他两个构件的相同。

4) 倒挡

当倒挡制动器 Z_{-1} 制动, 一档制动器 Z_1 和闭锁离合器 L 松开时, 变速器为倒挡工作状态。这时, 右侧行星排空转, 左侧行星排的行星架制动, 动力由 i 轴输入左侧行星排的太阳轮, 它带动该行星排的齿圈和输出轴减速反转。

行星架被制动, $n_{j1}=0$, 由行星排基本运动学关系式:

$$n_{i1} + k_1 n_{q1} - (1 + k_1) n_{j1} = 0$$

可求出倒挡的传动比为

$$i_{-1} = \frac{n_{i1}}{n_{q1}} = -k_1 = -\frac{84}{22} = -3.818$$

(2) 4HP-250 行星变速箱

德国 ZF 公司为“豹 I”坦克研制的 4HP-250 传动简图如图 8-4-27 所示。

1) 组成与工作

① 动力传递。发动机动力在前传动处分为变速功率和转向功率, 变速功率经前传动输入到液力变矩器, 动力由变矩器的涡轮输出后传给正倒机构, 正倒机构由一个内外啮合双星排和一个制动器、一个离合器组成。动力从正倒机构输出后传给变速箱, 经变速箱输出后分双路传递给两侧的汇流行星排, 和从转向机构过来的转向功率汇合后传递给侧减速器, 再传递给行动部分。

行星变速机构包括 3 个行星排和 1 个正倒机构, 可得到 4 个前进挡和 2 个倒挡。

② 一档。正倒机构中, L_2 接合, Z_1 制动, Z_2 、 Z_3 松开, 此时变速机构是一挡情况。从

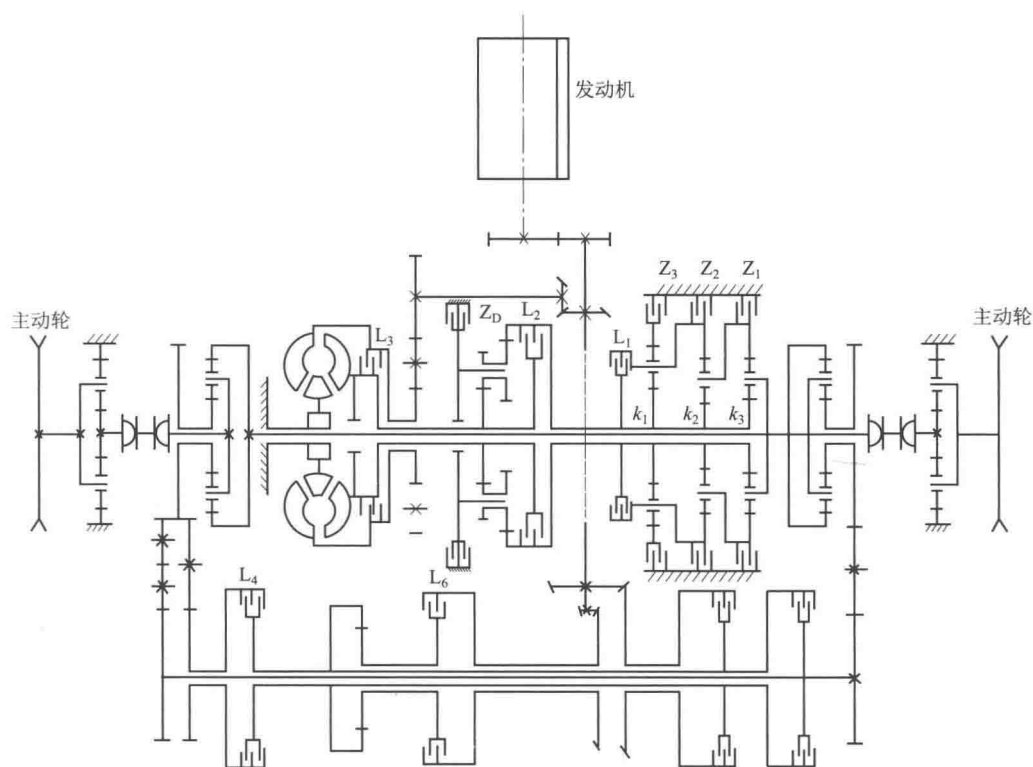


图 8-4-27 4HP-250 传动简图

涡轮传出来的动力经过 L_2 直接传给第三排的太阳轮，然后第三排工作，第一排、第二排空转。由于是 Z_1 制动，因此有

$$n_{q3} = 0$$

由行星排基本运动学关系式

$$n_{i3} + k_3 n_{q3} - (1 + k_3) n_{j3} = 0$$

可求出一挡的传动比为

$$i_1 = \frac{n_{i3}}{n_{j3}} = 1 + k_3$$

③ 二挡。正倒机构中， L_2 接合。 Z_2 制动， Z_1 、 Z_3 松开，此时变速机构是二挡情况。从涡轮传出来的动力经过 L_2 直接传给第二排和第三排的太阳轮，然后第三排、第二排工作，第一排空转。由于 Z_2 制动，故有

$$n_{q2} = 0$$

由行星排基本运动学关系式和变速机构中行星排的连接关系，得到如下方程：

$$n_{i3} + k_3 n_{q3} - (1 + k_3) n_{j3} = 0$$

$$n_{i2} + k_2 n_{q2} - (1 + k_2) n_{j2} = 0$$

$$n_{i3} = n_{i2}$$

$$n_{q3} = n_{j2}$$

可求出二挡的传动比为

$$i_2 = \frac{n_{i3}}{n_{j3}} = \frac{(1+k_3)(1+k_2)}{1+k_3+k_2}$$

④ 三挡。正倒机构中, L_2 接合, Z_3 制动, Z_1 、 Z_2 松开, 此时变速机构是三挡情况。从涡轮传出来的动力经过 L_2 直接传给三个行星排, 三个排全参与工作。

可求出三挡的传动比为

$$i_3 = \frac{n_{i3}}{n_{j3}} = \frac{(1+k_1)(1+k_2)(1+k_3)}{1+k_1+k_2+k_3+k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3}$$

⑤ 四挡。 L_2 接合, L_1 接合, Z_1 、 Z_2 、 Z_3 制动器松开, 此时三个行星排整体回转, 传动比为 1。

⑥ 倒挡。

正倒机构中, Z_D 制动, 此时变速机构是倒挡工况。分别制动 Z_1 、 Z_2 , 同时 Z_3 、 L_1 松开, 可以获得两个低速倒挡。如果在 Z_D 制动, 分别制动 Z_3 或接合 L_1 , 可以获得两个高速倒挡, 为保证安全, 这两个高速倒挡不使用。

倒一挡、倒二挡的传动比分别为

$$i_{-1} = i_D \cdot i_1 = -k_D \cdot (1+k_3)$$

$$i_{-2} = i_D \cdot i_2 = -k_D \cdot \frac{(1+k_2)(1+k_3)}{1+k_2+k_3}$$

2) 结构。“豹 I”坦克的动力装置、传动装置可整体吊装, 在其发动机和传动装置之间安装有可拆开的联轴器, 联轴器用来在牵引坦克时和在低温条件下启动发动机。通过可快速拆开的齿形联轴器可实现传动装置的输出轴和侧减速器之间的连接。

4HP-250 传动装置是液力机械式双流传动 (图 8-4-27)。传动装置在结构上由两部分组成 (图 8-4-28): 一是布置在一个箱体内的传动箱、液力变矩器、行星变速机构、转向机构, 二是连接成一个总成的带侧减速器的停车制动器。机械传动装置的箱体是筒式的, 其箱体油箱的上盖是可拆卸的, 同时, 该上盖也是主轴、汇流排、变速机构等的支承。转向机构位于传动装置的共同箱体上部, 零轴和主轴均制成可拆卸的。轴的左边和右边第一部分之间均用一根扭转连接轴连接, 而轴的第二部分通过连接管连接。

① 前传动。前传动由一系列锥形和圆柱形齿轮组成, 通过它们把发动机的转矩传递到液力变矩器的泵轮以及转向机构、冷却风扇和传动装置的液压泵上。

发动机的动力经一对圆柱齿轮增速后进行分流, 其中变速功率经一对锥齿轮、两对圆柱齿轮传递给变矩器的泵轮。

② 正倒机构。4HP-250 传动装置的正倒机构采用的是内外啮合双星排式, 它布置在液力变矩器和行星变速机构之间的主轴上。倒顺机构的行星排安装在液力变矩器的涡轮轴上, 闭锁离合器 L_2 安装在行星变速机构的输入轴上, 通过结合离合器将行星排的太阳齿轮和齿圈闭锁来实现前进挡行驶; 通过操控制动器 Z_D 制动行星架来实现倒挡行驶。倒顺机构设置于液力变矩器后、行星变速机构前, 从运动学上看有可能获得 4 个倒挡挡位, 但是为保证安全, 两个高速倒挡没有使用, 操纵系统仅保证得到两个低速倒挡挡位。

③ 变速机构。4HP-250 传动装置的二自由度行星变速机构, 由三个行星排、三个制动器、一个闭锁离合器组成, 可实现四个挡位。

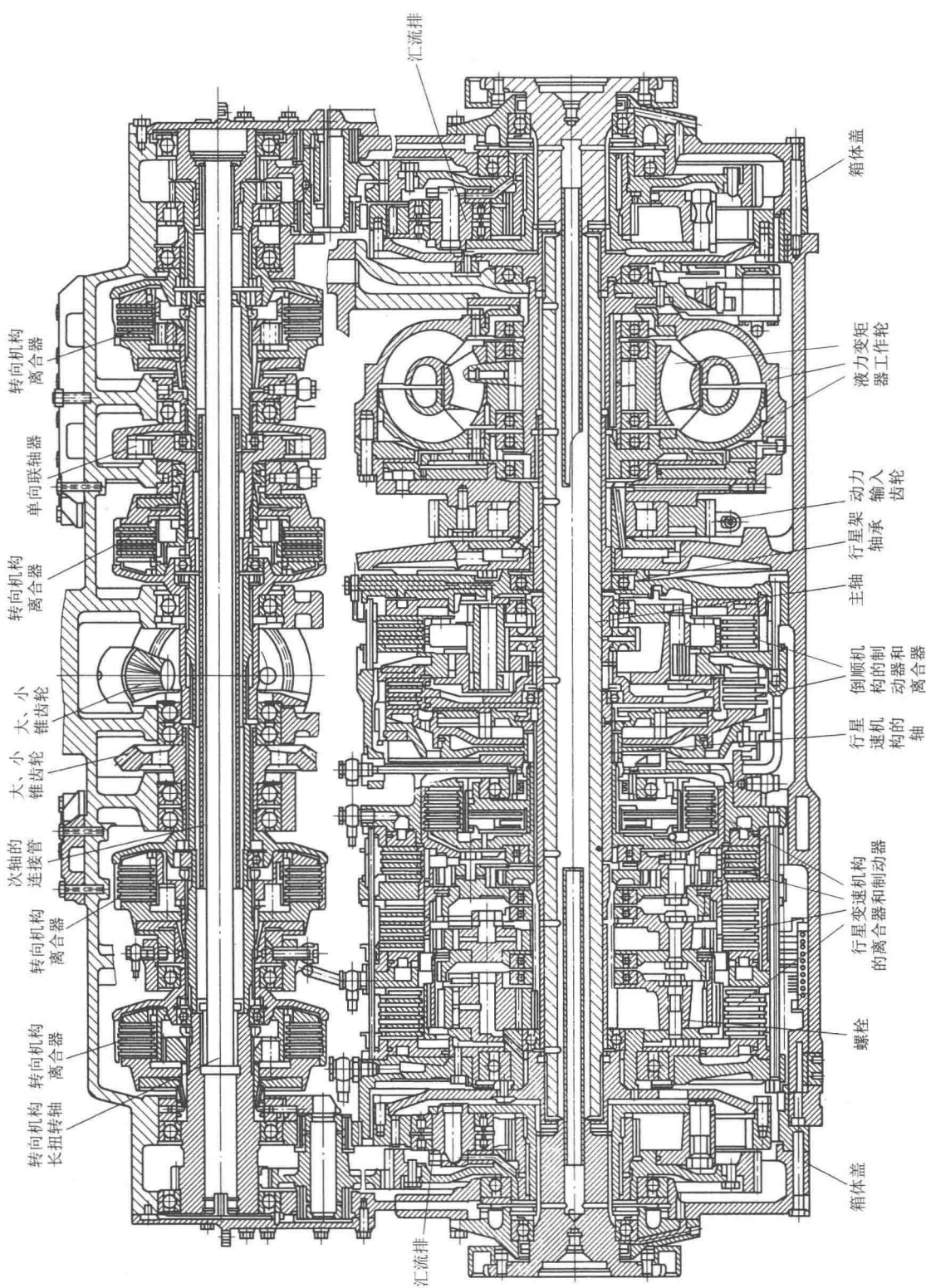


图 8-4-28 “豹 I” 坦克的 4HP-250 传动装置结构

三个行星排的太阳轮通过输入轴连接在一起。三个行星的排行星架通过轴承支撑在变速输入轴上，齿圈浮动。齿圈外圆加工有花键齿，上面安装换挡制动器的主动摩擦片，可沿花键齿轴向滑动。闭锁离合器输入转矩的鼓形齿同时也是离合器的结合活塞。为分离各摩擦片和平衡润滑油的离心力，除使用回位弹簧外，还设计了尺寸与主油缸相等的副油缸。

变速机构的第三排的行星架是变速的输出部分，其外花键连接着汇流行星排齿圈；内花键连接着一根空心轴，将动力传给另一侧的汇流行星排齿圈。

双流传动的变速一般采用双向输出，比单流传动车辆的输出多一层套轴。

(3) 其他二自由度行星变速箱

二自由度行星变速机构每控制一个构件减少一个自由度，得到所需要的具有一定传动比的一自由度传动。二自由度行星变速方案一般具有一个离合器。表 8-4-3 列举了几个二自由度行星变速机构。

表 8-4-3 二自由度行星变速机构简图

传动简图

参 数 表

(a) 国产红旗轿车 Powerflite 型变速箱

挡位	L	Z_1	Z_{-1}	传动比
1		+		1.72
2	+			1
-1			+	-2.39

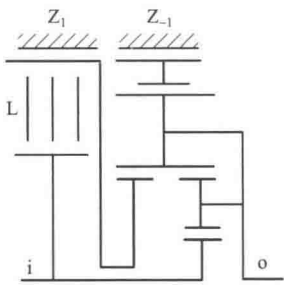
(b) 德国 ZF 公司典型传动

挡位	L	Z_3	Z_2	Z_1	传动比	
1				+	5.1	4.15
2			+		2.83	2.36
3		+			1.69	1.57
4	+				1	1

(c) Daimler 货车 RV-28 型变速箱

挡位	L	Z_3	Z_2	Z_1	Z_{-1}	传动比
1				+		4.28
2			+			2.43
3		+				1.59
4	+					1
-1					+	-5.97

续表

传动简图	参 数 表																							
	<table><tr><th>挡位</th><th>Ford</th><th>Dynaflow</th><th>Toyoglide</th><th>Chevrolet</th></tr><tr><td>1</td><td>1.82</td><td>1.82</td><td>1.82</td><td>1.76</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>-1.73</td><td>-1.637</td><td>-1.82</td><td>-1.76</td></tr></table>				挡位	Ford	Dynaflow	Toyoglide	Chevrolet	1	1.82	1.82	1.82	1.76	2	1	1	1	1	3	-1.73	-1.637	-1.82	-1.76
挡位	Ford	Dynaflow	Toyoglide	Chevrolet																				
1	1.82	1.82	1.82	1.76																				
2	1	1	1	1																				
3	-1.73	-1.637	-1.82	-1.76																				
(d) 多种轿车采用的 Dynaflow 型变速箱																								

2. 三自由度变速箱

(1) TX-200-2 行星变速箱

TX-200-2 行星变速箱装备于 M113 履带式装甲输送车的早期车型，后被 TX-100-1 型全自动传动装置替代。M113 系列装甲车是美国现装备的制式装甲人员输送车，其越野机动性能优越，可空投空运和两栖两用，采用不同的零部件和改装车顶结构即可适用于多种用途。M113 系列装甲车是西方国家使用得最广泛的军用履带装甲车，有近 50 个国家和地区装备该系列装甲车。

TX-200-2 型用于 M113 系列车辆、TX-200 型用于英国阿伯特 105 mm 自行火炮、TX-200-2A 型用于德国 HWK11 装甲人员输送车、TX-200-4A 型用于英国 FV432 装甲人员输送车和装甲修理车。

图 8-4-29 所示为 TX-200-2 型传动简图与车辆的底盘传动简图。

1) 组成与工作

① 动力传递。发动机动力经传动箱传给液力变矩器，液力变矩器涡轮输出的动力传给行星变速箱。通过对变速箱中不同制动器和离合器的操作所获得不同挡位，可将动力从被动轴输出。行星变速箱由四个行星排、四个制动器、两个闭锁离合器构成的两个二自由度行星变速机构串联组成，有六个前进挡和一个倒挡。变速箱传动简图如图 8-4-30 所示。

② 一挡。此时，制动器 Z_1 、 Z_3 制动，其余控件松开。从涡轮轴传来的动力传至第一行星排，由于行星排太阳齿轮被制动，动力经行星架减速后输至第二、三行星排的太阳齿轮；第三行星排的齿圈制动，动力再经第三排行星架减速后，由变速箱被动轴输出；第二、四行星排空转。

按照两自由度变速箱的分析方法，可求出一挡的传动比为

$$i_1 = \frac{n_{q1}}{n_{j3}} = \left(1 + \frac{1}{k_1}\right) (1 + k_3) = \left(1 + \frac{23}{59}\right) \times \left(1 + \frac{59}{21}\right) \approx 5.295$$

③ 二挡。此时，制动器 Z_3 制动，离合器 L_2 接合，其余控件松开。第一行星排整体回转，第三行星排的齿圈制动；动力再经第三排行星架减速后，由变速箱被动轴输出；第二、四行星排空转。

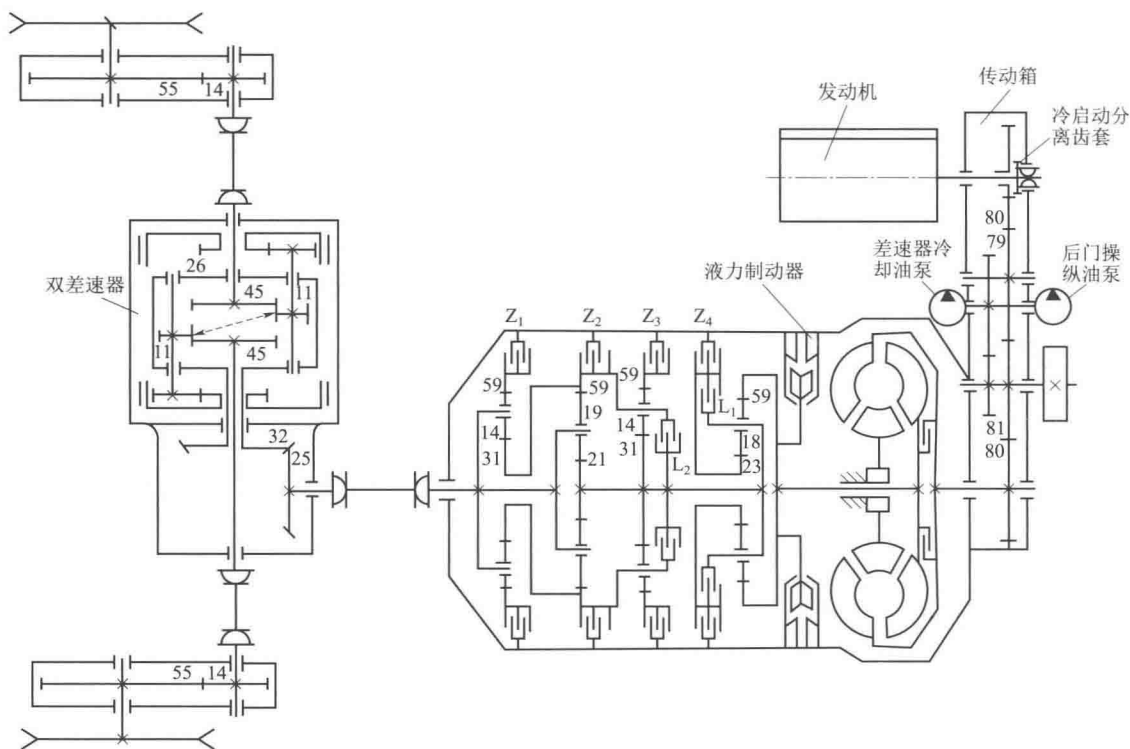


图 8-4-29 TX-200-2 型传动简图与车辆的底盘传动简图

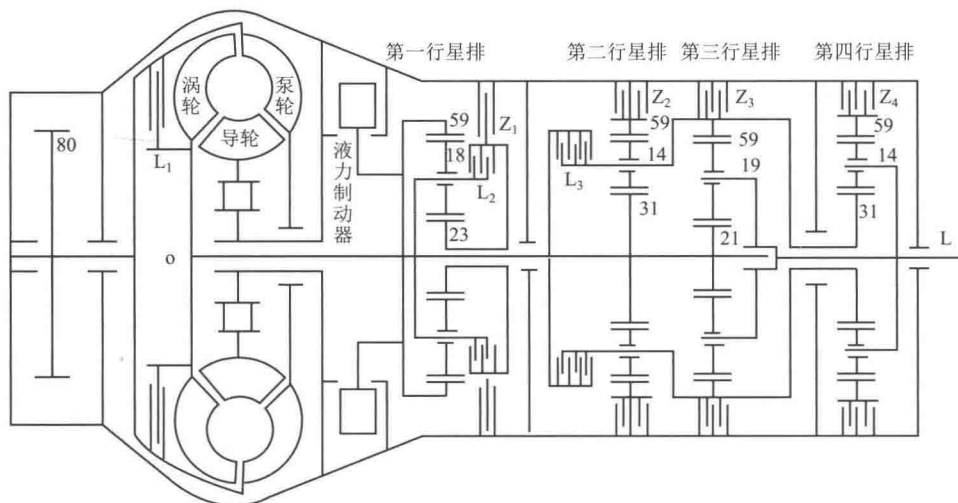


图 8-4-30 TX-200-2 型行星变速箱简图

可求出二挡的传动比为

$$i_2 = \frac{n_{q1}}{n_{j3}} = 1 + k_3 = 1 + \frac{59}{21} \approx 3.81$$

④ 三挡。此时，制动器 Z_1 、 Z_2 制动，其余控件松开。第一排行星架减速传动，第二排齿圈不动；行星架减速传动给第三排的齿圈，动力经第三排行星架输出；第四排仍为空转。

三挡的传动比为

$$i_3 = \frac{n_{q1}}{n_{j3}} = \left(1 + \frac{1}{k_1}\right) \frac{(1+k_2)(1+k_3)}{1+k_2+k_3} = \left(1 + \frac{23}{59}\right) \times \frac{\left(1 + \frac{59}{31}\right) \times \left(1 + \frac{59}{21}\right)}{1 + \frac{59}{31} + \frac{59}{21}} \approx 2.691$$

⑤ 四挡。此时，制动器 Z_2 制动，离合器 L_2 接合，其余控件松开。第一排整体回转，二、三、四排工作状态与三挡时的相同；第四排仍为空转。传动比中第一排的贡献为 1，因此，四挡传动比为

$$i_4 = \frac{n_{q1}}{n_{j3}} = \frac{(1+k_2)(1+k_3)}{1+k_2+k_3} = \frac{\left(1 + \frac{59}{31}\right) \left(1 + \frac{59}{21}\right)}{1 + \frac{59}{31} + \frac{59}{21}} \approx 1.936$$

⑥ 五挡。此时，制动器 Z_1 制动，离合器 L_3 接合，其余控件松开。动力由第一排行星架减速输出，其余三排整体回转。五挡传动比为

$$i_5 = \frac{n_{q1}}{n_{j1}} = \left(1 + \frac{1}{k_1}\right) = 1 + \frac{23}{59} \approx 1.39$$

⑦ 六挡。此时，离合器 L_2 、 L_3 接合，其余控件松开，四个行星排整体回转，六挡传动比为 1。

⑧ 倒挡。制动器 Z_1 、 Z_4 制动，其余控件松开。第一排行星排减速传动，第二排空转，动力经第三、四行星排由四排行星架输出。

倒挡的传动比为

$$i_{-1} = \frac{n_{q1}}{n_{j4}} = \left(1 + \frac{1}{k_1}\right) (1 - k_3 k_4) = \left(1 + \frac{23}{59}\right) \times \left(1 - \frac{59}{21} \times \frac{59}{31}\right) \approx -6.042$$

2) 结构

TX-200-2 传动结构如图 8-4-31 所示，由前传动箱、液力变矩器和行星变速箱共同组成，安装在车内支架上。

① 第一行星排。齿圈左端与涡轮轴毂通过花键连接，并用卡环固定。在齿圈和固定支座之间装有金属密封环。

行星架小径处内花键与中间轴相连，并用卡环轴向定位。行星架的行星轮轴上经滚针轴承安装着行星齿轮。轴右端铆装着闭锁离合器的内齿圈，内齿圈上面装有两片带衬面的摩擦片。

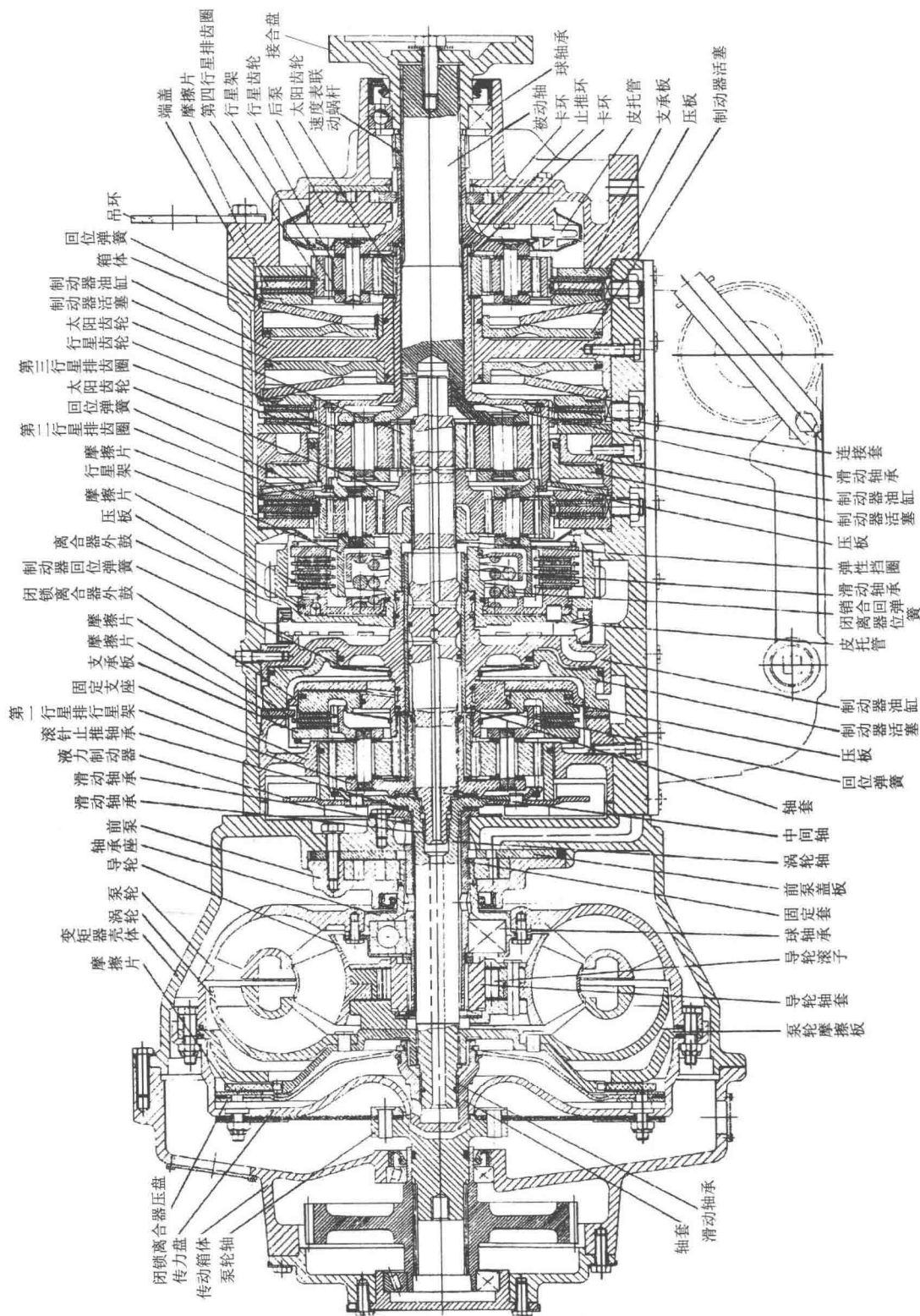


图8-4-31 M113履带运输车TX-200-2传动结构

太阳齿轮同时与行星齿轮和闭锁离合器外鼓啮合。

② 第二行星排。第一排行星架输出动力通过中间轴传至右边第二、三行星排。中间轴两端通过滑动轴承支撑，右侧花键上依次连接着闭锁离合器外鼓、第二行星排太阳轮、第三行星排太阳齿轮。

闭锁离合器主要由外鼓、压板、三片主动摩擦片、四片内齿摩擦片、支承板、定位卡环、行星架（离合器内鼓）、回位弹簧、弹簧罩等组成。

闭锁离合器外鼓的外圆柱面上加工有输出动力齿圈，内孔中部经滑动轴承支撑在轴套上。离合器压板靠回位弹簧实现回位。压板上装的球阀用于在离合器分离时进行卸压。另外，在外鼓和压板间还装有两道橡胶密封圈。

③ 第三行星排。太阳齿轮装在中间轴上，轴向用卡环定位。

行星架与被动轴制成一体，右端花键上依次装着第四行星排行星架、速度表联动蜗杆和连接盘。

齿圈左侧经过渡件连接第二行星排的行星架，右侧经连接套连接着第四行星排太阳齿轮，两处连接均采用卡环轴向定位。齿圈外齿上套接着制动器的内齿摩擦片。

④ 第四行星排。太阳齿轮内花键与连接套相连，连接套连接着第三行星排的齿圈，外齿与行星轮相啮合。

行星架用花键与被动轴相连，输出动力。

齿圈的内齿与行星齿轮啮合，外齿上套接着制动器内齿摩擦片。

(2) T-80 行星变速箱

苏联的 T-80 坦克和 T-72 坦克一样，均采用双侧箱方案。在 T-80 坦克的动力传动装置中，燃气轮机直接通过齿形联轴器与侧变速箱相连接（图 8-4-32）。为侧变速箱提供液压油的油泵安装在与发动机相连接的减速器上，这样，左右侧变速箱的区别仅在于管路长度和停车制动器联动机构的结构上。

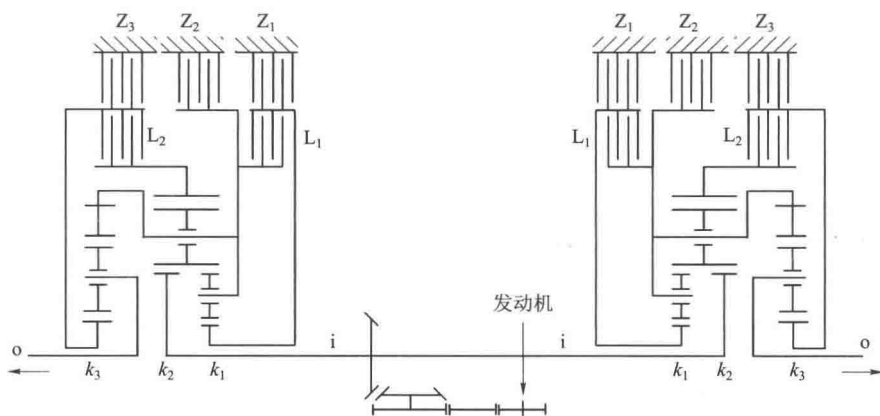


图 8-4-32 T-80 传动简图

1) 组成与工作

① 动力传递。T-80 坦克发动机的动力经过前传动传给两侧的侧变速箱，每个侧变速箱有三个行星排和五个可操纵摩擦部件，其中两个是闭锁离合器，三个是换挡制动器。侧变速箱的第一行星排和第二行星排共用行星架和齿圈，第一排为内外啮合双星排，也有认为第一排是外啮合行星排，和第二排共用太阳轮。第三排是内外啮合单星排（普通排）。五个可操纵摩擦部件的不同组合，能获得四个前进挡和一个倒挡，并且可以实现转向和制动工况。下面分析单侧变速箱的排挡情况，按第一排为内外啮合双星排，第一行星排和第二排共用行星架和齿圈来分析。

② 一档。 L_2 接合， Z_3 制动， Z_1 、 Z_2 、 L_1 松开，此时是一挡情况。动力经过第二行星排的太阳齿轮和行星架（该行星架同时也是第三行星排的齿圈）传递到第三排的行星架上，第一排空转。

一档的传动比为

$$i_1 = \frac{n_{i2}}{n_{j3}} = \frac{(1+k_3)(1+k_2)}{k_3}$$

③ 二挡。 L_2 接合， Z_1 制动， L_1 、 Z_2 、 Z_3 松开，此时是二挡情况。第一路功率流经第二行星排的太阳齿轮，再经过第二行星排的齿圈和离合器 L_2 ，传递到第三行星排的太阳齿轮上；第二路功率流经第一和第二行星排的共同行星架，再传递到第三行星排的齿圈上。之后，两路功率流在第三行星排的行星架上汇合。

二挡的传动比为

$$i_2 = \frac{n_{i2}}{n_{j3}} = \frac{(1+k_3)(k_1+k_2)}{k_1(1+k_3)-1}$$

④ 三挡。 L_1 接合， Z_3 制动， L_2 、 Z_2 、 Z_1 松开，此时是三挡情况。发动机的功率经过第二行星排的太阳齿轮和第一及第二行星排共同的行星架，传递到第三行星排的行星架上。

三挡的传动比为

$$i_3 = \frac{n_{i2}}{n_{j3}} = \frac{1+k_3}{k_3}$$

⑤ 四挡。 L_1 、 L_2 接合， Z_3 、 Z_2 、 Z_1 松开，此时是四挡情况。 L_1 接合，第一排和第二排整体回转； L_2 接合，使第三排整体回转。此时传动比为 1。

⑥ 倒挡。 Z_2 、 L_2 接合， Z_3 、 L_1 、 Z_1 松开，此时是倒挡情况。来自发动机的功率经过第二行星排太阳齿轮和齿圈，传递到第三行星排的太阳齿轮和行星架上。

倒挡的传动比为

$$i_{-1} = \frac{n_{i2}}{n_{j3}} = -k_2(1+k_3)$$

⑦ 停车。 Z_2 、 Z_3 接合， L_1 、 L_2 、 Z_1 松开，第三排的齿圈和太阳轮分别被制动，行星架被制动。第一排、第二排空转，动力中断。

当两侧的 Z_2 、 Z_3 同时接合，车辆被制动。

2) 结构

T-80 坦克侧变速箱结构如图 8-4-33 所示。

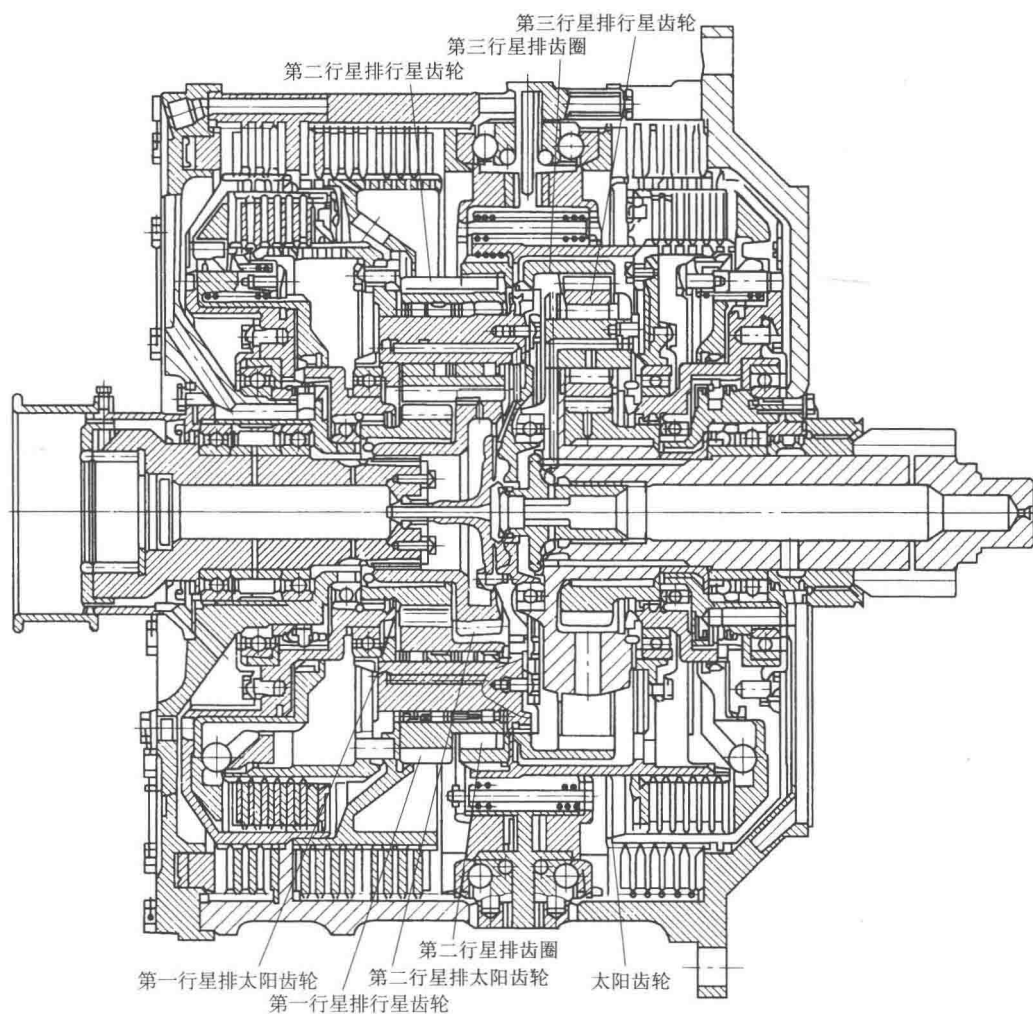


图 8-4-33 T-80 侧变速箱结构

T-80 坦克侧变速箱由箱体、输入轴、输出轴、第一行星排、第二行星排、第三行星排、三个换挡制动器、两个换挡离合器组成。

① 输入轴。输入轴通过两个球轴承支撑在箱体上。为增加支撑刚度，两个球轴承分开一定距离。输入轴通过连接套与前传动连接，其右端通过花键连接着第二行星排的太阳轮，轴向用螺栓和挡盖轴向固定。

② 第一、二行星排。第一行星排是内外啮合双星排，第一行星排与第二行星排共用行星架和齿圈，行星架通过两个轴承支撑。行星架（以右侧变速箱为例）左侧与离合器内鼓

制成一体，左侧还通过螺栓固定着制动器的内鼓，内鼓外齿套接着制动器摩擦片；右端通过螺栓固定着第三行星排的齿圈。

第一行星排太阳齿轮与双星轮中的内星啮合，太阳齿轮左侧通过花键连接着离合器的外鼓，离合器外鼓的内齿上套接着离合器摩擦片。外鼓同时是制动器的内鼓，其外齿上套接着制动器的摩擦片。离合器外鼓通过两个球轴承支撑在箱体上。

齿圈内齿与双星中的外星啮合，齿圈连接着离合器 L_2 的内鼓，内鼓上套接着离合器摩擦片。

第二行星排的太阳轮与双星中的外行星轮啮合。

③ 第三行星排。第三行星排为内外啮合单星排（普通排），从前排传过来的动力传给该排的齿圈。行星架连着输出轴，输出轴同时是侧减速器的输入轴。太阳轮右端通过花键连接着离合器的内鼓，离合器的内鼓通过两个球轴承支撑在箱体上。内鼓内齿套接着离合器摩擦片；离合器的内鼓同时又是制动器的外鼓，外齿套接着制动器的摩擦片。

（3）其他三自由度行星变速箱

三自由度行星变速机构要得到所需要的具有一定传动比的一自由度传动，需要控制两个构件，减少两个自由度。

图 8-4-34 所示为我国某型外贸坦克的自动行星变速箱简图。该传动装置的传动箱、主离合器及转向机等部件结构与 80 式坦克相同，但转向机改为液压操纵。该型行星变速箱代替了 80 式主战坦克的定轴式传动变速箱。

该行星变速箱是一种大功率的机械传动装置，利用变速箱内各操纵元件的不同组合，可获得 5 个前进挡和 1 个倒挡。该变速箱与多种车用柴油机相配可获得优良的动力性能，与横置发动机相配可获得满意的总体布置。

行星变速机构总成共有三个行星排和五个操纵件，由 L_1 制动器、 L_2 离合器、 L_3 离合器、 L_4 制动器、 L_5 制动器、 k_1 行星排、 k_2 行星排、 k_3 行星排等组成，其连接关系如图 8-4-34 所示。其中， k_1 行星排是一个外啮合双星排。

各个行星排的特性参数如下：

$$k_1 = 1.069; k_2 = 2.35; k_3 = 2$$

空挡时， L_4 摩擦片结合， L_3 的外鼓制动，同时 k_3 排太阳齿轮制动。动力通过主动齿轮、中间齿轮、被动齿轮带动短套轴 k_1 小太阳齿轮、 k_2 太阳齿轮转动。 k_1 小太阳齿轮转动时，通过行星齿轮，小行星齿轮的自转带动 k_1 大太阳齿轮转动，使 L_1 内鼓空转。 k_2 太阳齿轮带着 k_2 行星齿轮自转，使 k_3 内鼓空转，使动力没有传输出去。

一挡时， L_3 、 L_4 摩擦片结合， k_1 行星排空转， k_2 、 k_3 行星排减速传动，此时传动比为

$$i_1 = \left(1 + \frac{1}{k_3}\right) (1 + k_2)$$

二挡时， L_1 、 L_4 结合， k_1 行星排减速运转， k_2 行星排空转， k_3 行星排减速传动，此时传动比为

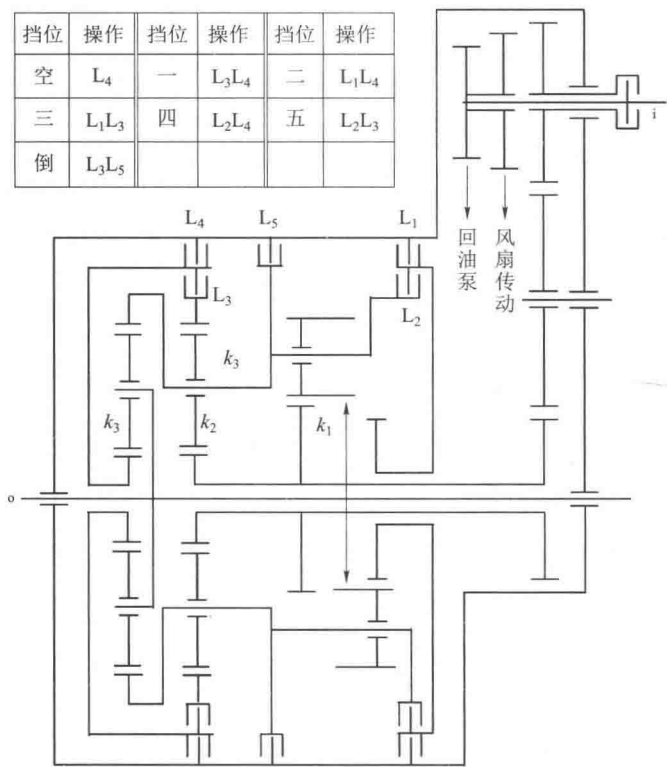


图 8-4-34 某外贸坦克的自动行星变速箱简图

$$i_2 = \left(1 + \frac{1}{k_3}\right) (1 + k_1)$$

三挡时，L₁、L₃ 结合，k₁ 行星排减速运转，k₂、k₃ 行星排整体旋转，此时传动比为

$$i_3 = 1 + k_1$$

四挡时，L₂、L₄ 结合，k₁、k₂ 行星排整体旋转，k₃ 行星排减速传动，此时传动比为：

$$i_4 = 1 + \frac{1}{k_3}$$

五挡时，L₂、L₃ 结合，k₁、k₂、k₃ 行星排通过离合器接合在一起，并且整体旋转，此时传动比为 1。

倒挡时，L₃、L₅ 结合，k₁、k₂ 行星排空转，k₂ 行星排太阳轮输入，齿圈反向输出，带动 k₃ 行星排减速反向输出，此时传动比为

$$i_R = -(1 + k_3) k_2$$

表 8-4-4~表 8-4-6 列举了曾经出现过的几个典型的三自由度行星变速机构。

表 8-4-4 串联式三自由度行星变速机构简图图例

传动简图

参 数 表

(a) 瑞典 Strv103B 坦克 FBTV-2B 变速箱

挡位	R	F	L	Z	i
1		+		+	2.94
2		+	+		1
-1	+			+	-2.61
-2	+		+		-0.89

(b) 国产 TY320 推土机变速箱

挡位	Z_F	Z_R	L	Z_2	Z_1	i
1	+		+			3.455
2	+			+		1.838
3	+				+	1
-1		+	+			-2.857
-2		+		+		-1.52
-3		+			+	-0.827

(c) 英国“奇伏坦”坦克 TN-12 变速机构

挡位	Z_L	Z_H	Z_R	Z_1	Z_2	Z_3	i
1	+			+			6.857
2	+				+		4.847
3	+					+	3.391
4		+		+			2.348
5		+			+		1.66
6		+				+	1.161
-1			+	+			-16.748
-2			+		+		-7.886
-3			+			+	-5.646

(d) 德国 ZF 公司 4PW-95H1 变速箱

挡位	L_1	Z_{-1}	L_2	Z_3	Z_2	Z_1	i
1	+					+	5.27
2	+				+		2.92
3	+			+			1.7
4	+		+				1
-1		+				+	-5.17
-2		+			+		-2.85
-3		+		+			-1.67
-4		+	+				-0.98

表 8-4-5 换联式三自由度行星变速机构简图图例

传动简图

参 数 表

(a) 美国 M26 坦克变速机构

挡位	L ₁	L ₂	Z ₁	Z ₂	i
1	+	+			1
2	+		+		0.428
-1	+			+	0.244
-2		+		+	-0.751

(b) 美国 X-1100 变速箱

挡位	L ₁	L ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₃	i
1	+		+			4.538
2	+			+		2.307
3	+				+	1.462
4	+	+				1
-1		+	+			-6.385
-2		+		+		-1.769

(c) 美国 Allison CLBT 750 变速箱

挡位	L ₁	L ₂	Z _D	Z ₁	Z ₂	Z ₃	i
1	+		+				5.18
2	+			+			3.19
3	+				+		2.07
4	+	+				+	1.4
5	+	+					1
-1	+			+			-4.48

(d) 德国 ZF 公司 4PW-95H1 变速箱

挡位	L ₁	L ₂	Z ₁	Z ₂	F	BW35 BW65	Ford- Omatic	Chaeka Volga
1	+		(+)		+	2.39	2.44	2.84
2	+			+		1.45	1.48	1.68
3	+	+				1	1	1
-1		+	+			-2	-2	-1.72

表 8-4-6 拆联式三自由度行星变速机构简图图例

传动简图

参 数 表

(a) 两个行星排的 TN-54 变速箱

挡位	L_1	L_2	Z_1	Z_2	i
1	+		+		2.201
2	+			+	1.494
-1	+	+			1
-2		+	+		-1.54

(b) 三排的 WT 系列变速箱

挡位	L_1	L_2	Z_1	Z_2	Z_3	i
1	+				+	4.522
2	+			+		2.249
3	+		+			1.524
4	+	+				1
5		+	+			0.749
6		+		+		0.645
-1			+		+	-4.682

(c) T-72 坦克侧变速箱

挡位	L_1	L_2	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	i
B					+	+	∞
N						+	
1		+				+	8.173
2				+		+	4.4
3		+		+			3.485
4			+			+	2.787
5		+	+				2.027
6	+					+	1.467
7	+	+					1
-1		+			+		-14.35

第五节 转向装置

一、概述

履带式装甲车辆直线行驶时，其两侧履带的卷绕速度相等，主动轮的转速相等。当两侧履带的卷绕速度不等时，车辆将不能保持直线行驶，而是绕履带卷绕速度较低一侧的某一点 O 做弧线运动。 O 点通常被称为瞬时转向中心，从 O 点到车辆纵轴中心线的距离 R 则被称作转向半径（图 8-5-1）。

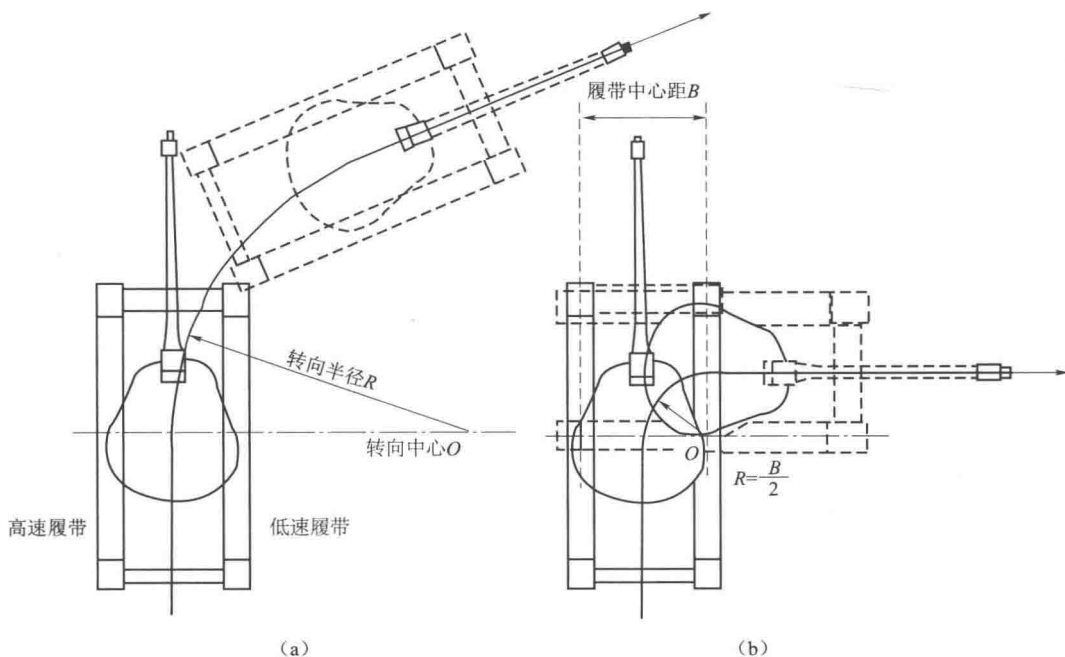


图 8-5-1 履带式车辆转向运动

履带式车辆有两种典型的转向方式，一种称为制动转向，也称原地转向，即一侧履带卷绕速度等于零的转向方式。其特征是高速侧履带的继续运动将带动制动侧履带前半段向内侧滑动，后半段向外侧滑动，其转向半径 $R=B/2$ (B 为车辆的履带中心距)；另一种称为原位或中心转向，此时车辆一侧履带向前运动，另一侧履带向后运动，即车辆绕其中心进行转向，其转向半径 $R=0$ 。

履带式车辆在转向时要消耗较大的功率，这是因为履带式车辆转向时其接地段履带沿着地面发生侧移，同时履带与地面的摩擦力和履带板剪切、堆积土壤的附加阻力，使坦克遇到的总阻力增大。通常，转向半径越小，所遇转向阻力越大；而轮式车辆则不同，轮式车辆车轮直接在地面上滚动，车辆的转向是通过操纵转向车轮在路面上相对于车辆纵轴中心线偏转一个角度实现的。由于地面对车轮产生的阻力很小，因此转向时消耗的功率也比较小。

坦克转向机构的型式多种多样，结构上差别很大，人们通常按其某一方面的特征对其进行分类。

按照功率流，坦克转向机构可以分为单流转向机构和双流转向机构。

单流传动转向机构是转向机构串联在变速箱（或变矩器）后面，这种转向机构的特点是直驶与转向性能互不影响、规定转向半径少、转向时功率消耗大。规定转向半径是指坦克在转向时，其转向机构中的摩擦元件之间没有功率损失时的转向半径。

双流传动转向机构是转向机构与变矩器机构并联，其特点是直驶与转向性能互相配合、转向半径与传动比有关，即各挡都有自己的规定转向半径。

按两侧速度控制性质（状态），可以将坦克装甲车辆转向机构分为独立式、差速式和降速式。

对于独立式转向机构，车辆转向时，高、低速两侧履带互不影响，一侧履带速度降低，另一侧履带速度将保持直驶时的速度。

对于差速式转向机构，车辆转向时，一侧履带速度的降低，另一侧履带速度增加，但两侧速度大小相等、方向相反，中心速度不变。

对于降速式转向机构，车辆转向时，在低速履带降速的同时，高速侧履带也按比例降速。

按传动介质分类，转向机构有机械式和液压式两种。

机械式转向机构有离合器、行星转向机、差速器、双侧变速箱。

液压式转向机构有静液差速双流转向机构、静动液复合转向机构、静液机械复合转向机构三种。

静液差速双流转向机构由液压机组（包括轴向柱塞泵和马达）和汇流行星排组成（图 8-5-2），其特点是：系统的液压制锁保证了直驶稳定性，每挡均有一个最小规定转向半径，并且该最小规定转向半径在低挡时小、高挡时大，转向半径能连续无级变化，空挡时转向机构可进行中心和原位转向。这是一种比较理想的转向装置。美国 M1、英国“挑战者”等、法国勒克莱尔等主战坦克均采用静液差速双流转向机构。

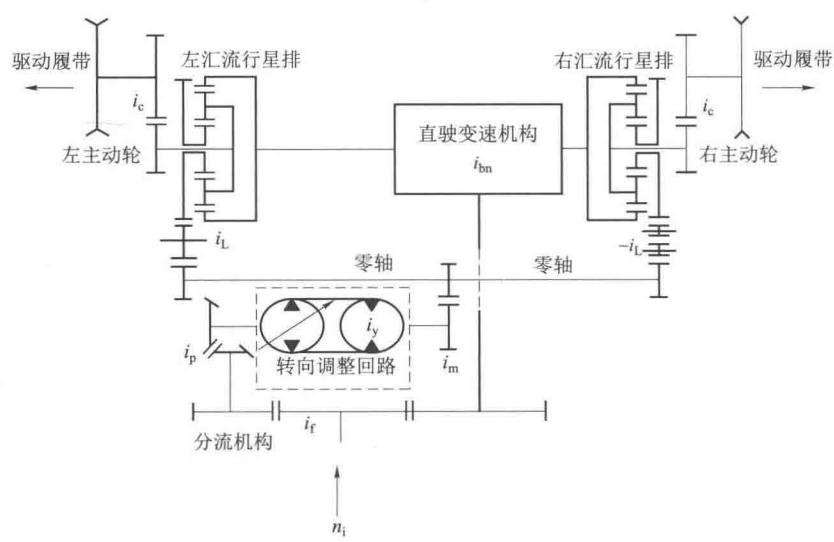


图 8-5-2 静液差速双流转向

静动液复合转向机构由静液转向机组和两个动液转向偶合器组成。静液转向机构功率受

限,能够实现大半径和良好路面的转向,不能满足困难路面和小半径的转向需要。这时,液力耦合器开始工作,提供附加的转向力矩进行辅助转向。静动液复合转向机构是德国伦克公司的专利,用在德国的“豹Ⅱ”和“黄鼠狼”步兵战车上。图 8-5-3 所示为“黄鼠狼”步兵战车采用的 HSWL-194 综合传动简图。

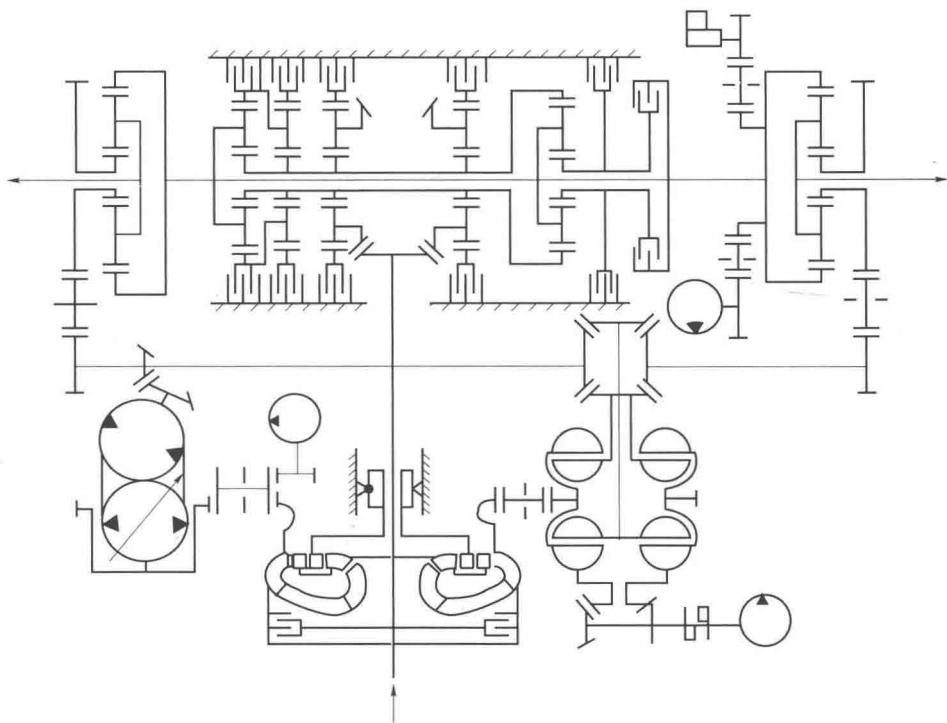


图 8-5-3 静动液复合转向

静液机械复合转向机构由液压转向机组和机械转向装置复合组成,其特点是:用小功率液压元件进行连续无级的大半径缓转向,而使用高效率的机械转向机构进行小半径急转向。图 8-5-4 所示为 ZF 公司的“LSG2000”综合传动装置,它采用的转向机构即为静液机械复合转向机构。

二、二级行星转向机构

(一) 转向原理

二级行星转向机是单流传动采用的转向机构,系统的传动示意图如图 8-5-5 所示。行星转向机安装在变速机构之后,变速机构的两个输出端各安装一个行星转向机。通过行星转向机控制不同的元件可以改变变速箱输入到侧传动的转速,以改变主动轮的转速,进而改变履带的卷绕速度。当两侧的行星转向机的控制元件不同时,两侧履带的卷绕速度也不同,车辆就向低速履带侧转向。

行星转向机的主要部件是一个简单行星排。

在前面介绍了简单行星排的速度关系式:

$$n_i + kn_q - (1+k)n_j = 0 \quad (1)$$



通常, 齿圈是行星排的输入件, 行星架是输出件, 太阳轮是控制件 (图 8-5-6)。

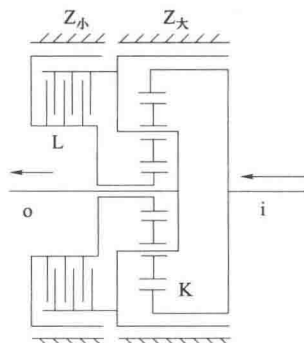


图 8-5-6 行星转向机单流传动示意 (2)

 $i = 1$

280

$$i = \frac{n_q}{n_j} = 1 + \frac{1}{k}$$

③ 齿圈输入，行星架输出，行星架制动。根据式 (1)，则有

$$i = \infty$$

单个行星转向机有上述三种状态，两个行星转向机组合有六种状态。当两个行星转向机的控制状态一致时，车辆就分别保持直线行驶、减速行驶和停车。

① 当一侧太阳轮制动，另一侧保持不变时，车辆就向太阳轮制动侧转向。转向半径可按照图 8-5-7 求出。

转向中心到内侧履带中心的距离与到外侧履带中心的距离之比等于内外侧履带的中心速度比。而无论变速箱的排挡如何，内外侧履带的速度只与两侧的行星转向机的传动比成反比，即

$$\frac{R+B/2}{R-B/2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{i_1}{i_2}$$

得到

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_1 + i_2}{i_1 - i_2} \right)$$

因此，这种情况下的转向半径为

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{1 + \frac{1}{k} + 1}{1 + \frac{1}{k} - 1} \right) = \frac{B}{2} (2k+1)$$

② 当一侧行星架制动，另一侧保持不变，车辆就向行星架制动侧转向。这时的转向叫制动转向，转向半径为 $B/2$ 。

③ 当一侧行星架制动，另一侧太阳轮制动，车辆向行星架制动侧做制动转向，转向半径为 $B/2$ 。

从上述分析中看出，二级行星转向机共有两个规定转向半径，一个是 $(2k+1)B/2$ ，一个是 $B/2$ 。按照这两个规定转向半径转向时，无论是把太阳轮和行星架闭锁一起的离合器、制动太阳轮的制动器还是制动行星架的制动器，都没有摩擦损失，这时消耗功率小。

坦克装甲车辆中还需要其他任意转向半径，比如修正车辆行驶方向等，这就需要依靠离合器的不完全接合、制动器的不完全制动来实现。这时，摩擦元件的摩擦表面会产生摩擦。这种转向称为分离转向，分离转向的转向半径是不稳定的。

(二) 构造

某主战坦克二级行星转向机结构如图 8-5-8 所示，结构上主要由一个行星排、闭锁离合器和制动器组成。

(1) 行星排

行星排由周转齿轮（齿圈）、行星架、太阳齿轮、行星齿轮、连接齿轮、大制动鼓等

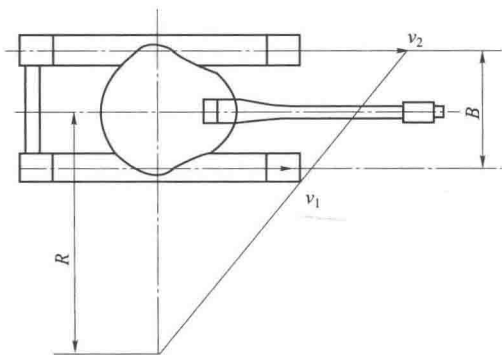


图 8-5-7 转向半径与履带的速度关系

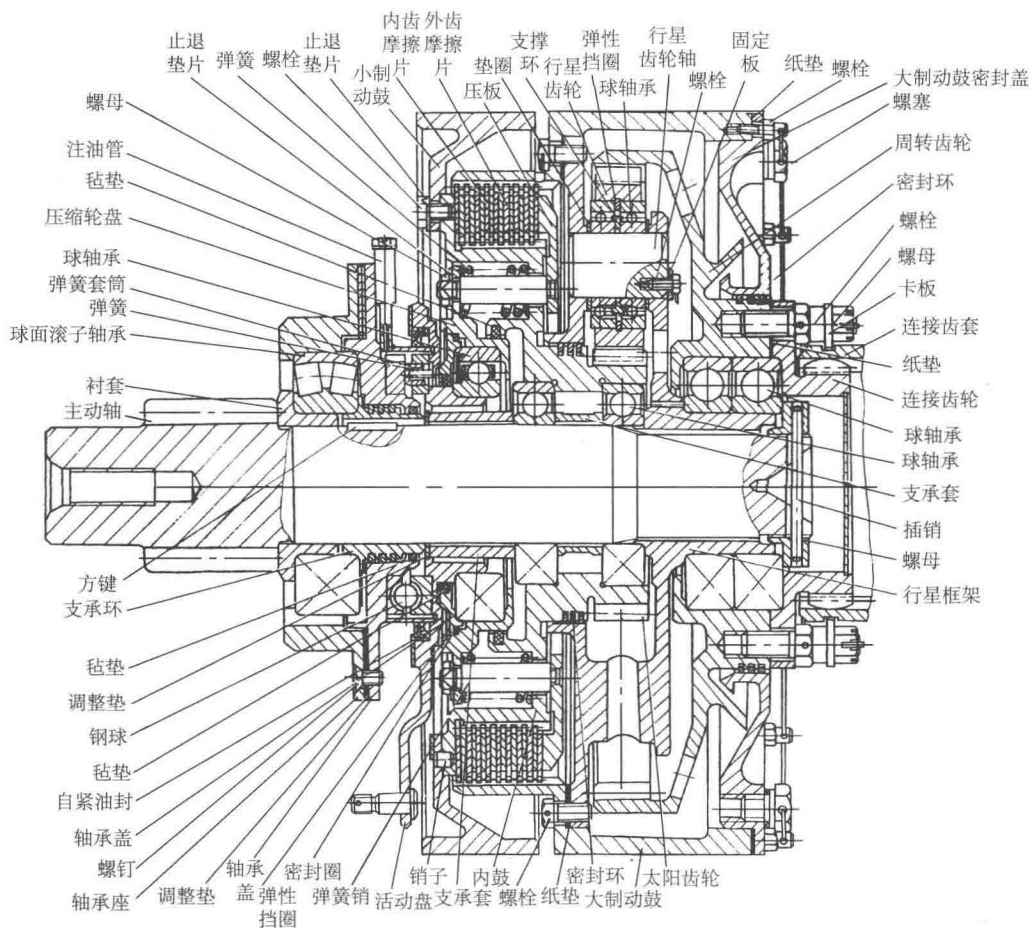


图 8-5-8 行星转向机结构

组成。

连接齿轮用螺栓固定在周转齿轮毂的端面上，并通过连接齿套与变速箱主轴相连，它将变速箱的动力传递给行星转向机的周转齿轮（齿圈）。

周转齿轮（齿圈）是行星转向机的输入部分，依靠两个球轴承支撑在行星架的轮毂上。周转齿轮上加工有挡油盘、三道密封环槽和六个检查孔。

行星架是行星转向机的输出部分，它通过花键套装在侧减速器的主传动轴上。行星架上面用螺栓固定着制成一体的大制动鼓和闭锁离合器的外壳。行星架上压装着四个行星齿轮轴，它依靠螺栓和固定板固定，防止轴向移动和转动。行星轮轴上通过两个球轴承支撑着行星轮。轴承间用弹性挡圈轴向定位。该球轴承无间隔圈，采用两种直径不同的钢球相间安装，负荷小时小直径钢球起隔离圈作用；负荷大时，所有钢球都参加工作。为防止轴承外环与行星架相碰，两轴承内环外端面上各放有一个垫圈。

太阳齿轮通过两个球轴承支撑在侧减速器主动轴上，与闭锁离合器内毂和小制动鼓制成一体，齿轮左侧的外圆柱表面上有三道密封环槽，密封环用于防止润滑油进入闭锁离合器。

（2）闭锁离合器

闭锁离合器的结构与主离合器的相似，其作用是使太阳齿轮与行星架闭锁或分开运转，

车的传动示意图。发动机布置在车体前部，传动包括主离合器、五前一倒定轴式变速箱、转向离合器、制动器和侧减速器。

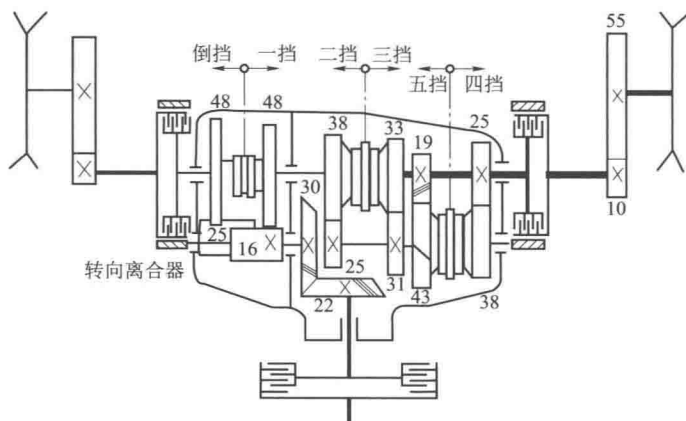


图 8-5-10 轻型装甲车的传动示意图

当两侧转向离合器都接合时，车辆保持直线行驶；当一侧的转向离合器松开时，制动器制动，该侧的主动轮停止转动，履带卷绕速度为零，另一侧转向离合器保持接合状态，车辆向制动器的一侧进行制动转向。

从图 8-5-10 中可知，这种转向机构只有一个 $B/2$ 的规定转向半径。做不定半径的分离转向时，低速侧的转向离合器不完全分离或制动器不完全制动，因此，转向消耗的功率较大。

图 8-5-11 所示为某轻型坦克采用的转向离合器，它位于变速箱与侧减速器之间。离合器的构造和工作原理基本上与其主离合器的相似，由主动部分、被动部分、加压机构和分离装置三大部分组成。

该转向离合器采用操纵杆操纵。当驾驶员两侧操纵杆都保持在原始位置时，两侧的转向离合器都处于接合状态，两侧的制动器都松开，坦克做直线行驶。

如果驾驶员将一侧操纵杆拉至最后位置，另一侧操纵杆保持在原始位置，此时操纵杆拉到最后，一侧的转向离合器分离，制动器同时制动，该侧的动力被切断，主动轮被制动，坦克沿该侧做制动转向。

如果两侧操纵杆都拉至最后位置，两侧的转向离合器都分离，制动器都制动，坦克便停车。

如果一侧操纵杆在原始位置，另一侧操纵杆没有完全到位，而是在原始位置和最后位置之间，该侧转向离合器不完全分离，制动器也未完全制动，主动部分的动力不能完全传至被动部分，坦克将以该侧某点为中心，做 $R \geq B/2$ 的不稳定转向。

四、差速器

差速器是坦克装甲车辆上应用较多的一种转向机构，有单差速器和双差速器之分。根据采用齿轮的齿形不同，差速器也分为锥形齿轮差速器和柱形齿轮差速器。

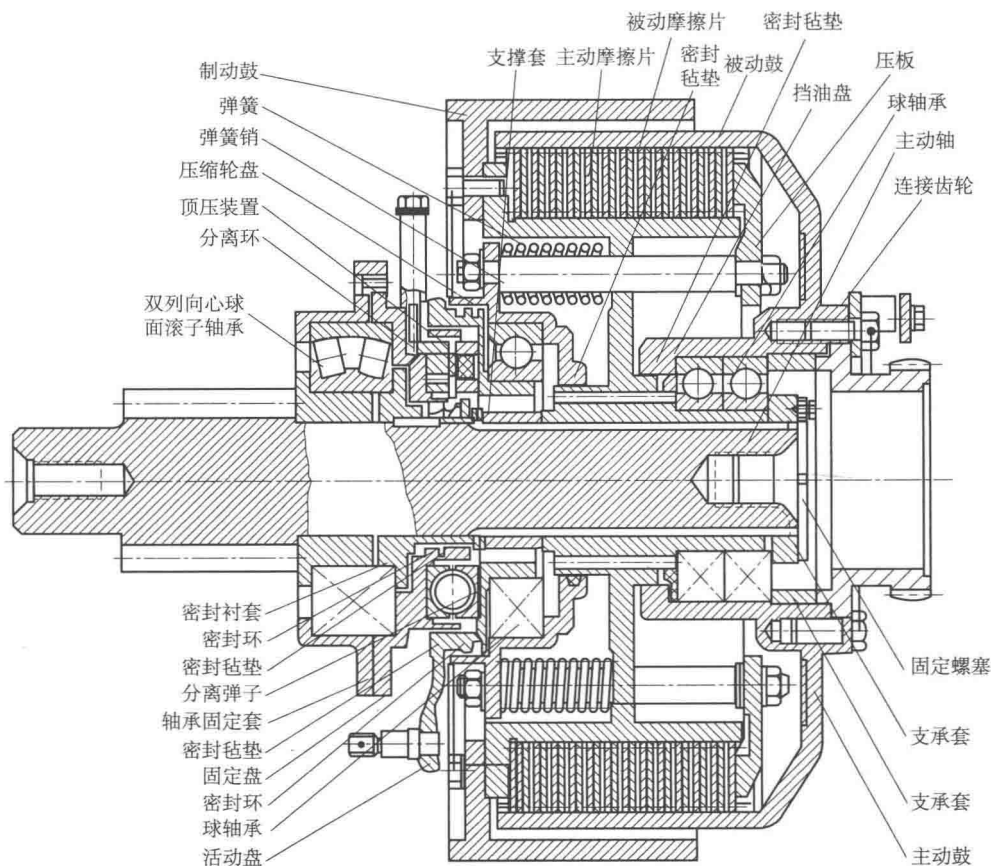


图 8-5-11 转向离合器

(一) 单差速器

1. 工作原理

差速器的工作原理可用图 8-5-12 来说明。被动锥齿轮和构成行星架的差速器壳、行星轮轴为差速器的主动件，设其角速度为 ω_0 。两个半轴齿轮连同两半轴分别为两个从动件，其角速度分别为 ω_1 和 ω_2 。图中 A、B 两点为行星齿轮与两个半轴齿轮的啮合点，C 为行星齿轮的中心。行星齿轮中心至差速器旋转轴线的距离为 r 。下面分两种情况进行讨论。

(1) 行星齿轮仅绕差速器轴线公转时

发动机的动力经变速传动传递给差速器从动齿轮，从动齿轮上的扭矩通过差速器壳、十字轴、行星齿轮、半轴齿轮、半轴而到驱动轮。

此时，因车辆在平坦路面上直线行驶，两侧驱动轮（滚动半径相等）所处条件相同，行星齿轮两边受力平衡，被十字轴带着绕差速器轴线旋转，并带动两侧半轴齿轮和驱动轮以相同的角速度旋转，如图 8-5-12 (b) 所示。同一半径 r 处的 A、B、C 三点圆周速度相同，其值为 $\omega_0 r$ ，即 $\omega_0 = \omega_1 = \omega_2$ 。也就是说，差速器两半轴的角速度等于差速器壳的角速度，这时的差速器整体转动而无差速作用。

行星齿轮相当于一根绕十字轴颈能自由转动的等臂杠杆，当它保持平衡时，其两端的 A、B 点所受的反作用力相等，作用于半径相等的左、右两半轴齿上 A、B 点的力也应相等，

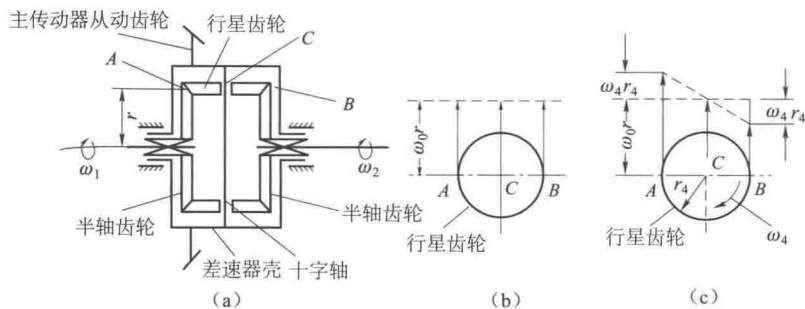


图 8-5-12 差速器工作原理

A—行星齿轮与左侧半轴齿轮的啮合点；B—行星齿轮与右侧半轴齿轮的啮合点；C—行星齿轮中心；
 r —行星齿轮与半轴齿轮啮合点至半轴中心的距离； r_4 —行星齿轮半径

从而使左、右半轴齿轮获得相等的扭矩。

(2) 行星齿轮既有公转又有自转时

车辆转向行驶时，两侧驱动轮所处的条件不同。在同一时间内，内侧车轮走过的距离短，外侧车轮走过的距离长。如果要求两侧车轮保持纯滚动状态，则外侧驱动轮及与之相连的半轴、半轴齿轮的角速度应大于内侧的。这时差速器必须差速运转才能满足上述要求。

行星齿轮在十字轴带动下绕差速器轴线公转，又因差速器差速运转而自转。以 ω_4 表示行星齿轮绕十字轴颈自转的角速度，以 r_4 表示其半径，则内外侧半轴速度满足下列关系：

$$\omega_1 r = \omega_0 r + \omega_4 r_4$$

$$\omega_2 r = \omega_0 r - \omega_4 r_4$$

将上面两式的左、右端分别相加并化简后得到

$$\omega_1 + \omega_2 = 2\omega_0$$

若式中角速度以每分钟转速 n 表示，则有

$$n_1 + n_2 = 2n_0$$

这就是两半轴齿轮直径相等的普通齿轮式差速器的运动特性方程式。它表明不论行星齿轮的运动状态如何，左、右两侧半轴齿轮的转速之和等于差速器壳转速的两倍。因此，借助行星齿轮的自转，可使左、右两侧的主动轮或驱动轮以不同的转速转动，从而实现车辆的转向。

当左、右半轴以不同转速朝相同方向匀速转动时，设左半轴转速 n_1 大于右半轴转速 n_2 ，行星齿轮将沿如图 8-5-13 (a) 所示的实线箭头 n_4 的方向绕十字轴颈自转。此时，行星齿

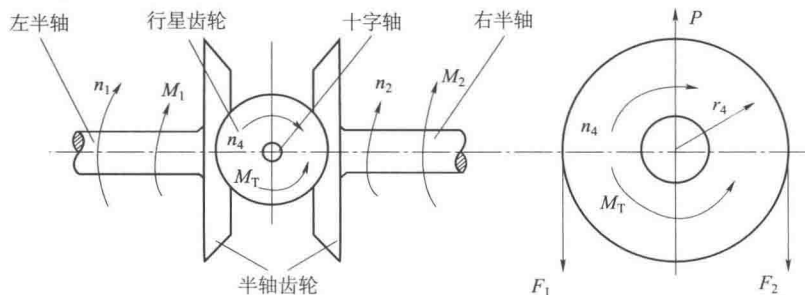


图 8-5-13 差速器扭矩分配示意图

轮孔与十字轴颈之间、齿轮背面与差速器壳体之间都产生摩擦。将上述摩擦作用引起的力矩作用集中画在行星齿轮上，以 M_T 表示，则其方向与转速 n_4 的方向相反。图 8-5-13 (b) 所示为差速运转时行星齿轮的受力简图，其中 P 为差速器壳体对行星齿轮的推力， F_1 、 F_2 为左、右半轴齿轮对行星齿轮的反作用力，按照作用力与反作用力大小相等原理，行星齿轮对两侧半轴齿轮的作用力大小应分别等于 F_1 、 F_2 。

对行星轮进行受力分析，得

$$F_1 = \frac{P}{2} - \frac{M_T}{2r_4}; \quad F_2 = \frac{P}{2} + \frac{M_T}{2r_4}$$

可见，行星齿轮传到转得快的左半轴上的扭矩 M_1 减小，传到转得慢的右半轴上的扭矩 M_2 增加。因此，当左、右驱动轮存在转速差时，差速器分配给转得较慢的车轮以较大的扭矩。

目前在车上广泛使用的普通差速器，其内摩擦力矩很小，实际上可以认为无论左、右驱动轮转速是否相等，扭矩都非常近于平均分配。

当两侧制动器松离且地面阻力基本相等时，车辆处于直线行驶状态；若一侧制动器被制动，则该侧半轴和履带速度均增加一倍，这时车辆将向制动一侧转向。由于采用差速器转向时，车辆中心速度不降低，因此，转向要消耗更大的功率。若转向半径过小，车辆动力将难以满足转向要求。

车辆直线行驶时，根据差速器的运动学特性，只要两侧履带上的阻力不相等，车辆就会向阻力大的一侧自动转向，该现象被称为直线行驶的不稳定性。这一缺点可以通过加装闭锁机构来克服。

为了提高车辆的通过能力，在轮间差速器上设有差速锁机构，当一边车轮滑转时，驾驶员操纵差速锁，使差速器锁住而不起差速作用，相当于把两根半轴连成整体。差速锁的工作原理如图 8-5-14 所示。当需要差速锁工作时，在气缸内通入压缩空气。活塞在压缩空气作用下推动拨叉移动，拨叉带动滑动齿套与固定齿套啮合，从而使左半轴、右半轴、差速器壳制成一体，此时差速器失去差速作用。当放掉压缩空气时，回位弹簧将拨叉推回原位，滑动齿套退出固定齿套，则差速锁解除作用。

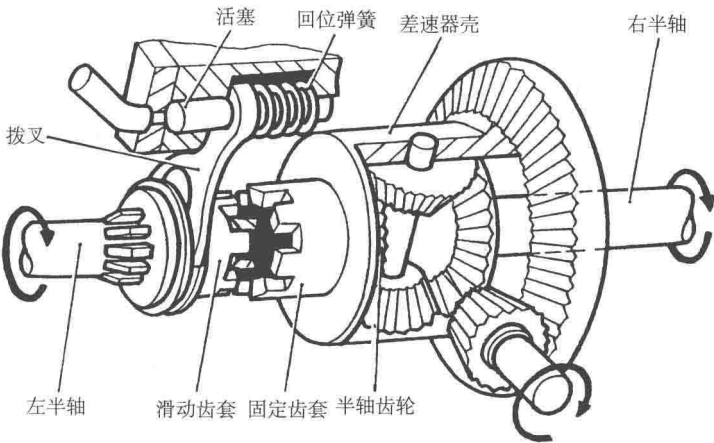


图 8-5-14 轮间差速锁机构

2. 差速器构造

某轮式装甲车的传动布置如图 8-1-14 所示，其传动简图如图 8-5-15 所示。它采用 6×6 全轮驱动，分动箱、前桥、中桥和后桥都有差速器。

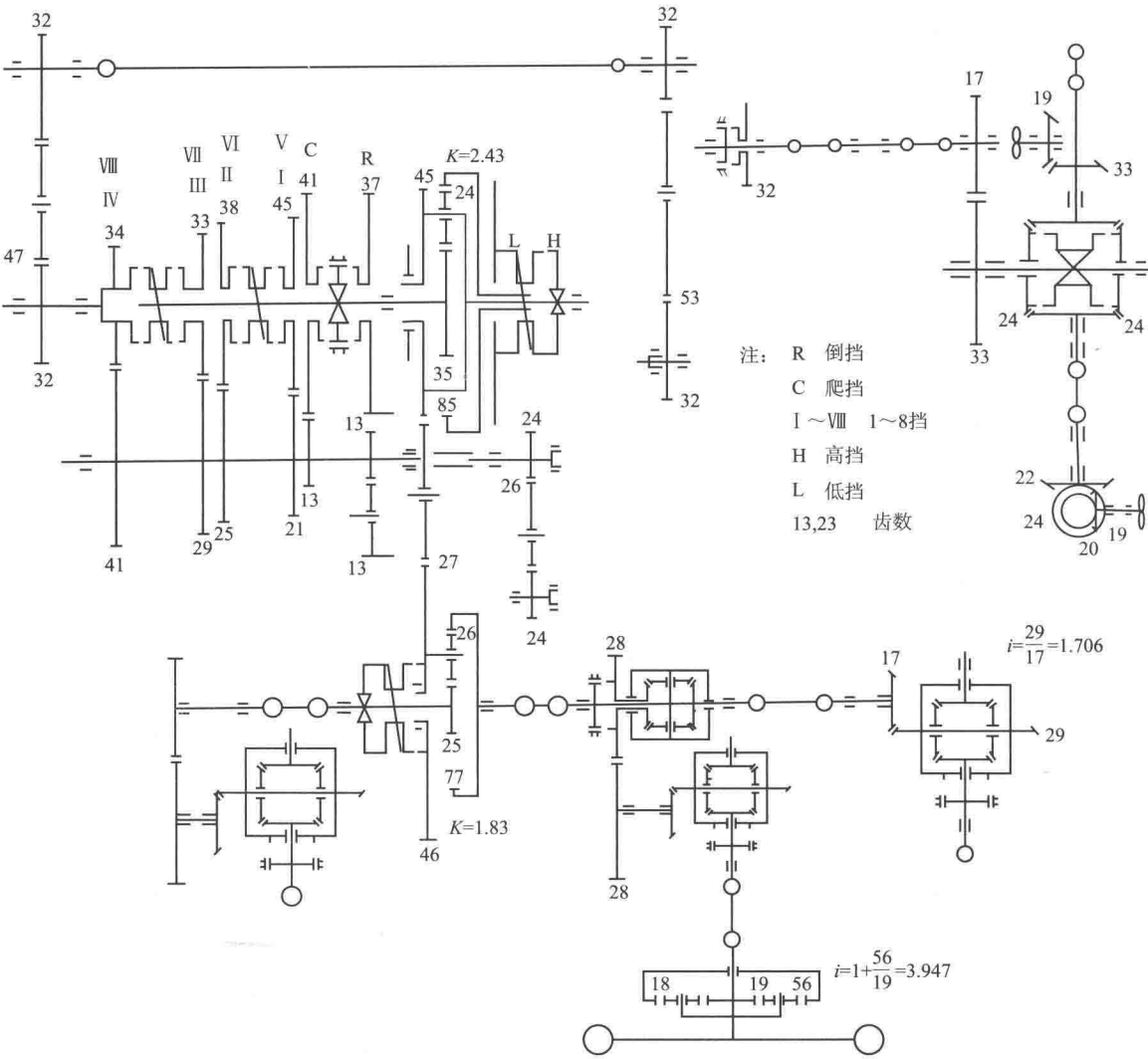


图 8-5-15 某 6×6 轮式装甲车的传动简图

中桥为独立悬挂式贯通式转向驱动桥，它有三个基本功用：一是将从分动器输入的动力按一定比例传给中桥和后桥，二是将输入中桥的动力最后传给驱动轮，三是利用铰链结构使车轮有摆动一定角度的可能，以实现车辆更好地转向。

中桥主要由中桥传动箱、中桥主减速器、轮边减速器、轮间差速器和中、后桥轴间差速器及其差速锁装置、半轴和桥壳等组成。

后桥为独立悬架式驱动桥，由后桥主减速器、轮边减速器、轮间差速器及其差速锁止装置、桥壳、半轴等零部件组成。

图 8-5-16 所示为中桥传动示意图，图 8-5-17 所示为后桥传动示意图。

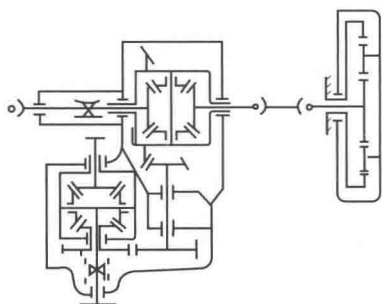


图 8-5-16 中桥传动示意

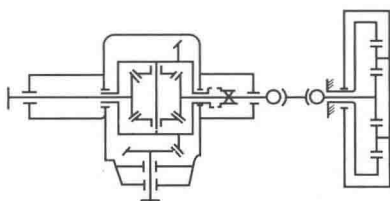


图 8-5-17 后桥传动示意

(1) 中桥传动箱与轴间差速器

中桥传动箱的作用是将分动器传来的动力分别传给中、后桥主传动器，并协调中桥车轮在行驶过程中的运动关系。在传动箱的动力分流处还安装有中、后桥轴间差速器。

1) 构造

中桥传动箱通过螺栓固定在主传动器壳上，它主要由普通直齿圆锥行星齿轮式轴间差速器及其闭锁机构，以及主动轴、后桥驱动轴和与这些轴有关的齿轮、轴承等机件组成，其具体结构如图 8-5-18 所示。

分动器传来的动力经万向传动装置传给传动箱的主动轴，主动轴前端通过向心球轴承支承于传动箱盖的相应座孔内，其后端经过衬套（2）活动支承于后差速齿轮的内孔。主动轴前花键轴段与传动凸缘 12 的花键孔配合，该传动凸缘经螺栓与万向传动装置的传动凸缘相连接，以接受分动器传来的动力。主动轴后段钻有中心油道及径向油道，且在该中心油道的尾端与后桥驱动轴前端面之间插有润滑油引导螺旋弹簧。

主动轴上安装了轴间差速器，该轴间差速器由十字轴、行星齿轮、差速齿轮及壳体等机件组成。

轴间差速器十字轴的轴颈外端被连成一体，该十字轴以中间的花键孔与主动轴上的花键相配合，其轴向由螺母限位。四个行星齿轮支承于十字轴各轴颈上，并同时与前、后差速齿轮相啮合。行星齿轮背面与差速器壳之间装有球面推力垫圈。与中桥传动齿轮啮合的前差速齿轮与中桥驱动齿轮制成一体，经衬套支承在主动轴上。前差速齿轮前端面与主动轴轴肩之间装有推力调整垫圈。中桥传动齿轮以花键孔与中桥主传动器的主动齿轮轴花键轴段相配合，轴向由螺母（3）压紧。中桥驱动齿轮到传动齿轮的传动比为 1。后差速齿轮的支承颈部分穿过差速器半壳的轴孔后经向心球轴承支承在传动箱壳体的座孔内。后差速齿轮背面与差速器壳之间装有推力调整垫圈。后差速齿轮以其花键孔与后桥驱动轴的前花键轴段相配合。后桥驱动轴的后端用向心球轴承（2）支承在中桥壳的相应轴孔。后桥驱动轴尾端的凸缘用螺栓与后桥万向传动装置的传动凸缘相连接，以便将动力传给后桥主传动器。

在轴间差速器前方的差速锁机构主要由牙嵌式闭锁器以及气压操纵机构两部分组成。

牙嵌式滑动接合套以花键孔与主动轴的中段花键轴颈相配合，并可沿轴向滑动，以便使其端面齿能与前差速齿轮的前端面齿互相嵌合或分离，而使差速器闭锁或解除闭锁。

气压操纵机构由气压工作缸、拨叉及拨叉轴等机件组成。

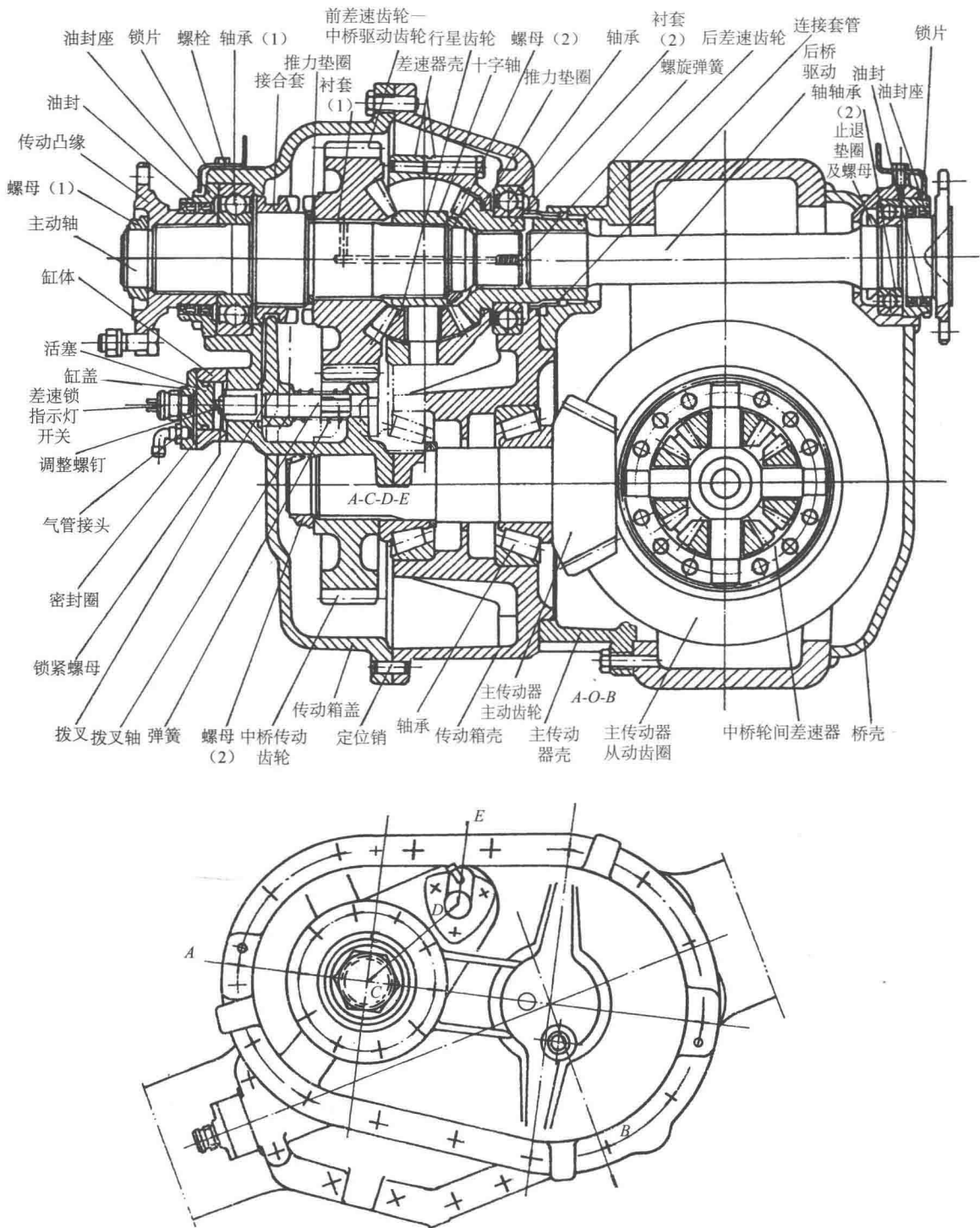


图 8-5-18 中桥传动箱

拨叉轴以两端轴颈活动支承于传动箱盖的相应轴孔内,而在其轴颈上套有拨叉及弹簧。拨叉的叉口嵌入接合套的环槽内。拨叉轴前端中心螺孔拧有调整螺钉,用来调整接合套的轴向位置,以保证牙嵌闭锁器闭锁时互相嵌合的端面齿与齿槽间在轴向留有一定间隙。

缸体及缸盖用螺栓固定在传动箱盖上。带密封圈的活塞与缸体滑动配合。在差速器解除闭锁时,弹簧的张力使活塞、拨叉轴、拨叉及接合套等机件都位于最前方(即图示的左方)。

2) 工作

传动箱工作时,其动力先后经传动凸缘、主动轴、十字轴传给行星齿轮,再经过行星齿轮分别传给后差速齿轮和前差速齿轮,经过后差速齿轮的动力直接传给后桥驱动轴;经过前差速齿轮的动力先后经中桥驱动齿轮、中桥传动齿轮,然后传给中桥主传动器主动齿轮轴。

① 差速器未闭锁时。差速器未闭锁时,在弹簧的张力作用下,活塞、拨叉等机件均保持在最前方,滑动接合套的端面齿与前差速齿轮前端面齿之间保持一定的间隙,处于分离状态。根据车辆路面情况,此时前、后差速齿轮既可以等速转动,也可以差速运转。

② 差速器闭锁时。当车辆即将通过困难路段时,应使轴间差速器闭锁,使差速机构不起作用,让车辆按照地面阻力来自动分配驱动力。当驾驶室内的轴间差速器闭锁机构的旋钮开关接通时,压缩空气即可进入工作缸的工作腔,推动活塞向右移动。拨叉拨动滑动接合套向右移动,使其端面齿与前差速齿轮前端面齿互相嵌合。这样,差速器各机件就被刚性地连接成一体,相互之间不能相对转动,差速器也就处于“闭锁”状态,差速作用消失,差速器的扭矩等分特性也不复存在,从而提高了车辆在困难路段上的通过能力。

当车辆通过困难路段后,应及时解除对差速器的闭锁。差速锁开关断开,压缩空气控制管路的气路被截后,工作缸内的压缩空气排入大气。工作缸的活塞、拨叉轴、拨叉及滑动接合套即在弹簧作用下回到原始位置,使差速器解除闭锁。

(2) 中桥主传动器与轮间差速器

图 8-5-19 所示为中桥主传动器,它由主动螺旋锥齿轮、从动螺旋锥齿轮和相应的轴承等机件组成。

右旋螺旋主动锥齿轮与轴制成一体,通过两个圆锥滚子轴承装于传动箱壳的相应轴承座内。在轴肩与前圆锥滚子轴承(2)内圈端面之间装有调整隔圈,并由轴端螺母借中桥传动齿轮进行轴向压紧。传动箱壳和主传动器壳的接合面之间装有调整垫片,改变该垫片的厚度即可调整主动齿轮轴的轴向位置,以保证这对螺旋锥齿轮轮齿的正确啮合。

从动螺旋锥齿轮为一齿圈,位于主动齿轮的右侧,用螺栓与差速器右半壳固连成一体,借差速器壳两侧的圆锥滚子轴承支承于主传动器壳的相应轴承座内,并用调整螺母(1)、(2)压紧。该调整螺母还可用来调整轴承预紧度和螺旋锥齿轮副的啮合间隙。

中桥差速器为直齿圆锥行星齿轮式差速器,中桥轮间差速器结构与轴间差速器结构相同,其闭锁机构也相同。

后桥差速器和轮间闭锁机构与中桥相同。

(二) 双差速器

美国 M113 装甲输送车采用圆柱形双差速器实现车辆转向,车辆传动简图如图 8-4-19 所示,双差速器安装在变速装置之后,由一个锥齿轮输入,从两侧半轴输出。

图 8-5-20 所示是圆柱齿轮双差速器原理图,它由大行星齿轮 C_1 和 C_2 、小行星齿轮 B_1

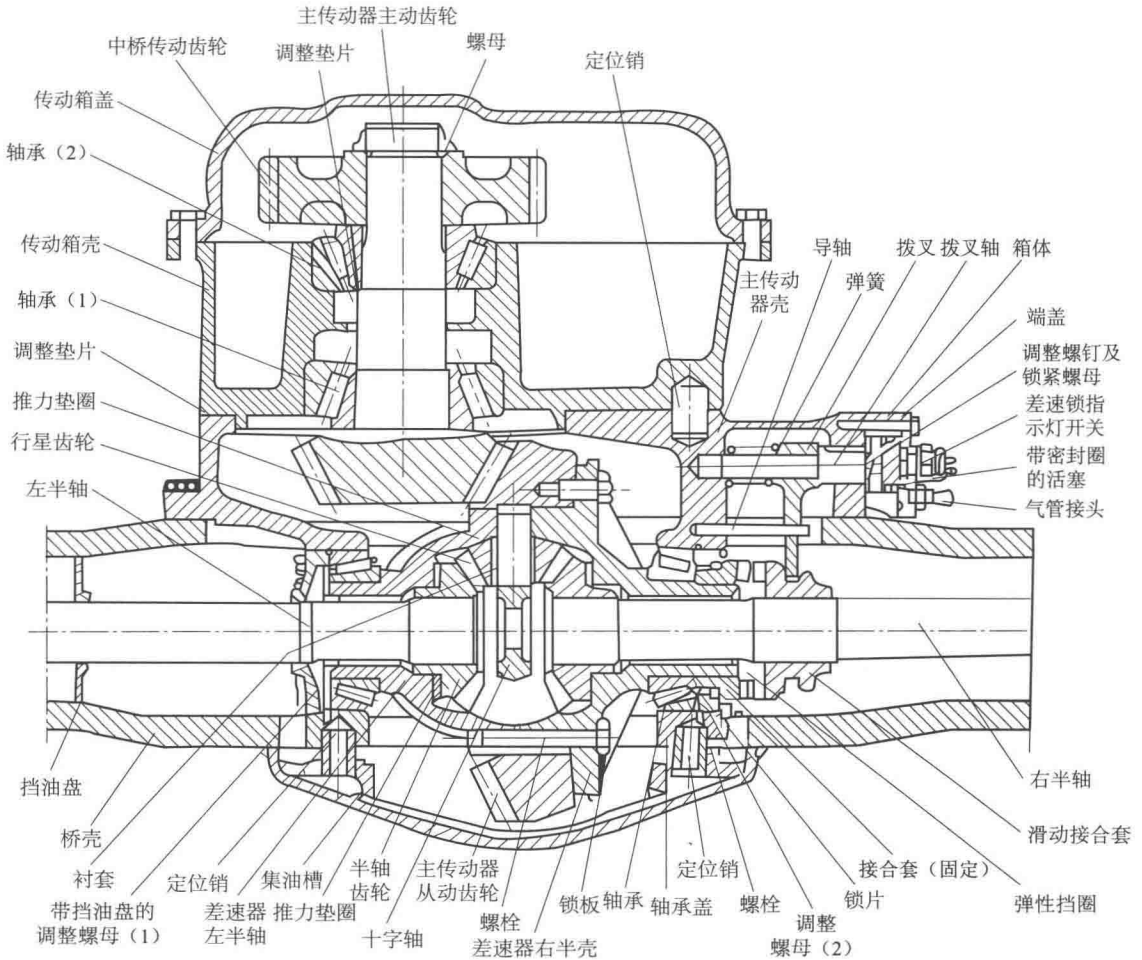


图 8-5-19 中桥主传动器与轮间差速器

和 B_2 、半轴齿轮 A_1 和 A_2 、制动齿轮 D_1 和 D_2 、制动器 Z_1 和 Z_2 及差速器体等组成。动力传递路线：主动圆锥齿轮→被动圆锥齿轮→差速器体→行星齿轮轴→小行星齿轮→半轴齿轮→两侧半轴→两侧减速器。

在车辆直线行驶时，两侧制动器 Z_1 和 Z_2 都松开，此时，大行星齿轮 C_1 和 C_2 、制动齿轮 D_1 和 D_2 都不传递动力，只有半轴齿轮 A_1 和 A_2 与小行星齿轮 B_1 和 B_2 组成单差速器工作，其工作原理与单差速器的相同。

当坦克转向时，需要制动器一侧制动，假设将 Z_2 制动。 Z_2 制动，制动齿轮 D_2 不旋转，动力经行星架带动行星齿轮转动时，该侧大行星齿轮 C_2 便在制动齿轮 D_2 上滚动，除了公转之外，它还要绕自身的轴线自转，迫使小行星齿轮 B_2 自转。 B_2 带动 B_1 旋转， B_1 的自转方向与 B_2 的相反。 B_2 的自转使半轴齿轮 A_2 减速， B_1 的自转使半轴齿轮 A_1 加速。这样，制动侧履带减速，另一侧履带加速，车辆转向中心在履带低速一侧。

当制动器 Z_1 部分制动时，以行星架为参考坐标，半轴齿轮 A_1 转速与制动齿轮 D_1 转速有如下关系：

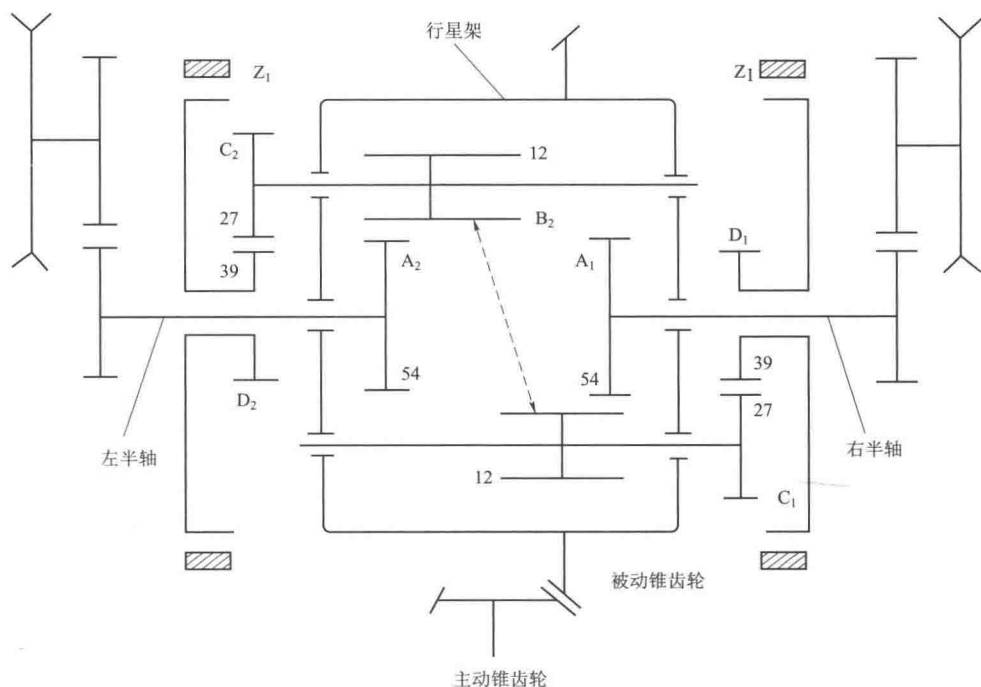


图 8-5-20 圆柱齿轮双差速器

$$\frac{n_1 - n_0}{n_z - n_0} = \frac{B_1 D_1}{A_1 C_1} = i_c$$

式中, n_0 ——差速器体的转速;

n_1 ——半轴齿轮 A_1 的转速;

n_z ——制动器齿轮 D_1 的转速;

A_1 ——直接以 A_1 表示半轴齿轮 A_1 的齿数, 下同;

B_1 ——小行星齿轮 B_1 的齿数;

C_1 ——大行星齿轮 C_1 的齿数;

D_1 ——制动器齿轮 D_1 的齿数。

把半轴齿轮和制动齿轮之间的传动比称为差速器的传动比, 这里有

$$i_c = \frac{B_1 D_1}{A_1 C_1}$$

则有

$$n_1 = (1 - i_c) n_0 + i_c n_z$$

同理, 半轴齿轮 A_2 转速与制动齿轮 D_1 转速关系如下:

$$\frac{n_2 - n_0}{n_z - n_0} = - \left(\frac{B_2 B_1 D_1}{A_2 B_2 C_1} \right) = - \left(\frac{B_1 D_1}{A_2 C_1} \right)$$

式中, 负号表示半轴齿轮 A_2 与制动齿轮 D_1 的转动方向相反。

一般双差速器为对称结构, 半轴齿轮 A_1 和 A_2 、小行星齿轮 B_1 和 B_2 、大行星齿轮 C_1 和 C_2 、制动齿轮 D_1 和 D_2 齿数都分别相等, 有

$$-\left(\frac{B_1 D_1}{A_2 C_1}\right) = -\left(\frac{B_1 D_1}{A_1 C_1}\right) = -i_c$$

即有

$$n_2 = (1+i_c)n_0 - i_c n_z$$

履带式车辆两侧履带的卷绕速度与双差速器两半轴的转速成比例，有如下关系：

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{(1+i_c)n_0 - i_c n_z}{(1-i_c)n_0 + i_c n_z} = \frac{R+B/2}{R-B/2}$$

得到转向半径为

$$R = \frac{B}{2} \frac{1}{i_c - i_c \frac{n_z}{n_0}}$$

从公式中看出，转向半径与差速器的传动比 i_c 、制动齿轮的转速有关。当制动齿轮没有完全制动时，转向半径随制动齿轮转速的升高而增大，这就是车辆正常行驶过程中的修正方向和大半径转向。

从公式中看，当制动器 Z_1 完全制动时， n_z 为零，转向半径为

$$R = \frac{B}{2} \cdot \frac{1}{i_c}$$

理论上，当传动比 i_c 为 1 时，车辆可以实现制动转向；当传动比 i_c 小于 1 时，车辆转向半径 $R > B/2$ 。一般来说，装有双差速器的车辆，双差速器的传动比为 0.2~0.5。

双差速器式转向机构完全制动时，可产生从低速履带到高速履带的再生功率，从而减小对发动机的负荷。如果两侧制动器都完全制动，差速器不能转动，车辆将被制动。

图 8-5-21 所示为一种圆锥齿轮双差速器，工作原理与圆柱齿轮的双差速器的相同。

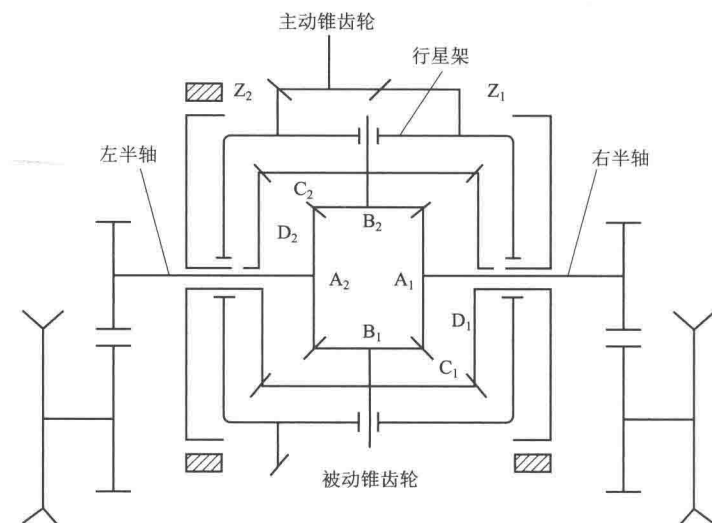


图 8-5-21 圆锥齿轮双差速器

双差速器在国外的坦克装甲车辆上广泛应用，但双差速器和单差速器一样，在车辆直线行驶时都不够稳定。

第六节 制 动 器

通过某种方式对旋转件施加制动力矩或者解脱制动力矩，使其处于减速、静止或者再恢复原来旋转状态的装置或机构称为制动器。

按照制动器在坦克装甲车辆中的作用不同，可以将其分为停车制动器、换挡制动器和转向制动器。

停车制动器是用来使坦克装甲车辆减速、停车或保持停车状态的制动器，换挡制动器是行星变速箱中用来变换排挡的制动器，转向制动器是实现车辆转向所用的制动器。

按照工作原理，制动器可以分为摩擦式和液力式两种。

摩擦式制动器是利用固定构件和旋转构件表面相互摩擦时产生的摩擦力矩来降低旋转构件的转速，直至制动旋转构件。目前，在坦克装甲车辆上应用较多的是摩擦式制动器。在结构上，制动器又可以划分为片式、带式、盘式、鼓式制动器几种。

一、带式制动器

带式制动器按其结构可分为单带式 and 双带式。双带式制动器在现代坦克车辆上很少采用。单带或存在安装调整时间长、制动时的径向负荷使磨损不均匀和可靠性降低等缺点，趋于被淘汰。但是由于单带式结构简单紧凑、分离彻底，因此在我国和俄罗斯的一些坦克装甲车辆上仍有使用。单带式按其操纵方式可分为单端操纵式、浮式和双端操纵式（图 8-6-1）。

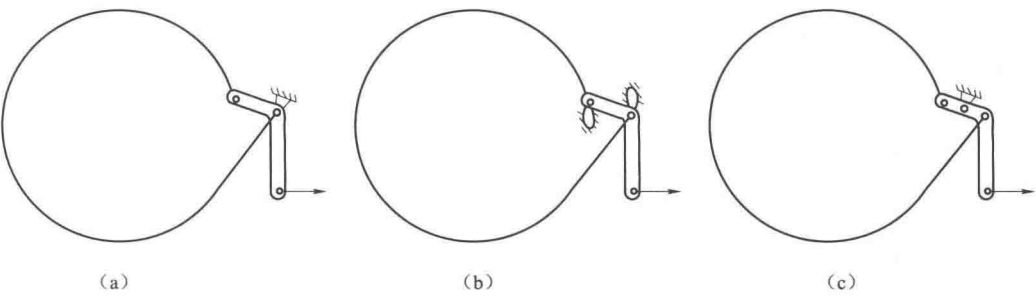


图 8-6-1 单带制动器的三种操纵方式

(a) 单端操纵式；(b) 浮式；(c) 双端操纵式

单端操纵的带式制动器有一个固定端，另一个是操纵端。这种制动器在两个旋转方向上的制动效果不一样，常用于换挡制动器。

浮式制动器的制动带两端都不固定，制动器开始工作时，一端靠在支架上成为固定端，另一端是操纵端。旋转方向相反时，固定端与操纵端互换，两个旋转方向上的制动效果一样，常用于停车制动器和转向制动器。

双端操纵式制动器的带式制动带两端都与一个杠杆铰接，转动杠杆可以同时操纵带的两端。杠杆的尺寸可以设计成使两个方向上的制动效果都一样。

图 8-6-2 所示为我国某主战坦克的二级行星转向机的带式制动器，它分为大制动器和小制动器。大制动器用于制动行星架，使坦克制动或停车；小制动器用于制动太阳齿轮，使

行星排减速传动。

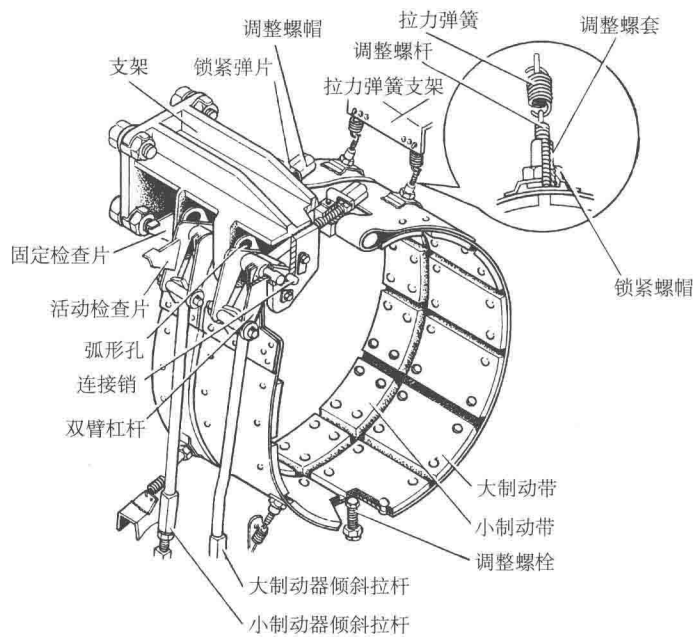


图 8-6-2 带式制动器

大、小制动器的结构基本相同，由共用的制动器支架、制动带、制动鼓、双臂杠杆、连接销和调整装置组成。

制动带里侧铆有十一块铁基粉末冶金制动瓦。大、小制动带分别套装在大、小制动鼓外，其一端和双臂杠杆一起用连接销与制动带支架相连；另一端装有支撑铁，调整螺栓从支撑铁中间穿过。

双臂杠杆一端与倾斜拉杆相连，中部用连接销与制动带支架相连，另一端用连接销经调整螺栓与制动带后端相连。

大、小制动带均为浮式安装，并且工作完全一样。当操纵装置带动双臂杠杆向上旋转时，连接销带动制动带两端做相对运动，使带与鼓之间的间隙消失，并产生摩擦。在摩擦力的作用下，制动带随制动鼓略微转动，直至其中一根连接销顶住特形孔壁。当双臂杠杆继续转动时，即以顶住特形孔壁的销子这一端为支点，将制动带另一端拉紧。此时作用在制动带上的摩擦力与拉紧制动带方向一致，因此制动带帮助拉紧制动带。反之，制动鼓与上述方向相反时，则以另一端销子顶住特形孔壁作支点，也起着助力作用（见图 8-6-3）。

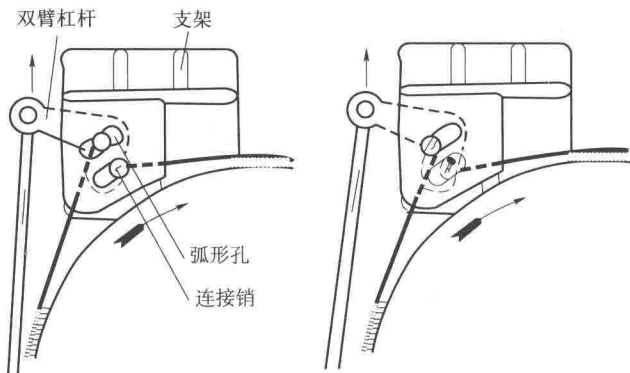


图 8-6-3 浮式制动器工作原理

二、片式制动器

在 TX-200-B 行星变速箱中，换挡用的制动器就是片式制动器（图 8-6-4）。片式制动器具有以下特点：工作时无径向力、摩擦均匀、双向制动效果一样。当采用湿式多片式结构时，制动力矩随车速下降而上升，同时其摩擦系数受温度、滑摩速度、压力变化影响小，性能最稳定，另外，它还具有制动容量大、制动平稳、磨损小、使用寿命长的特点，易于使用液压驱动和采用自动操纵方式。目前，美、俄、德、日、英、中等国的新式军用车辆上都采用了这种制动器。

图 8-6-4 所示的某行星变速机构采用的是湿式多片式制动器和湿式多片式离合器换挡。

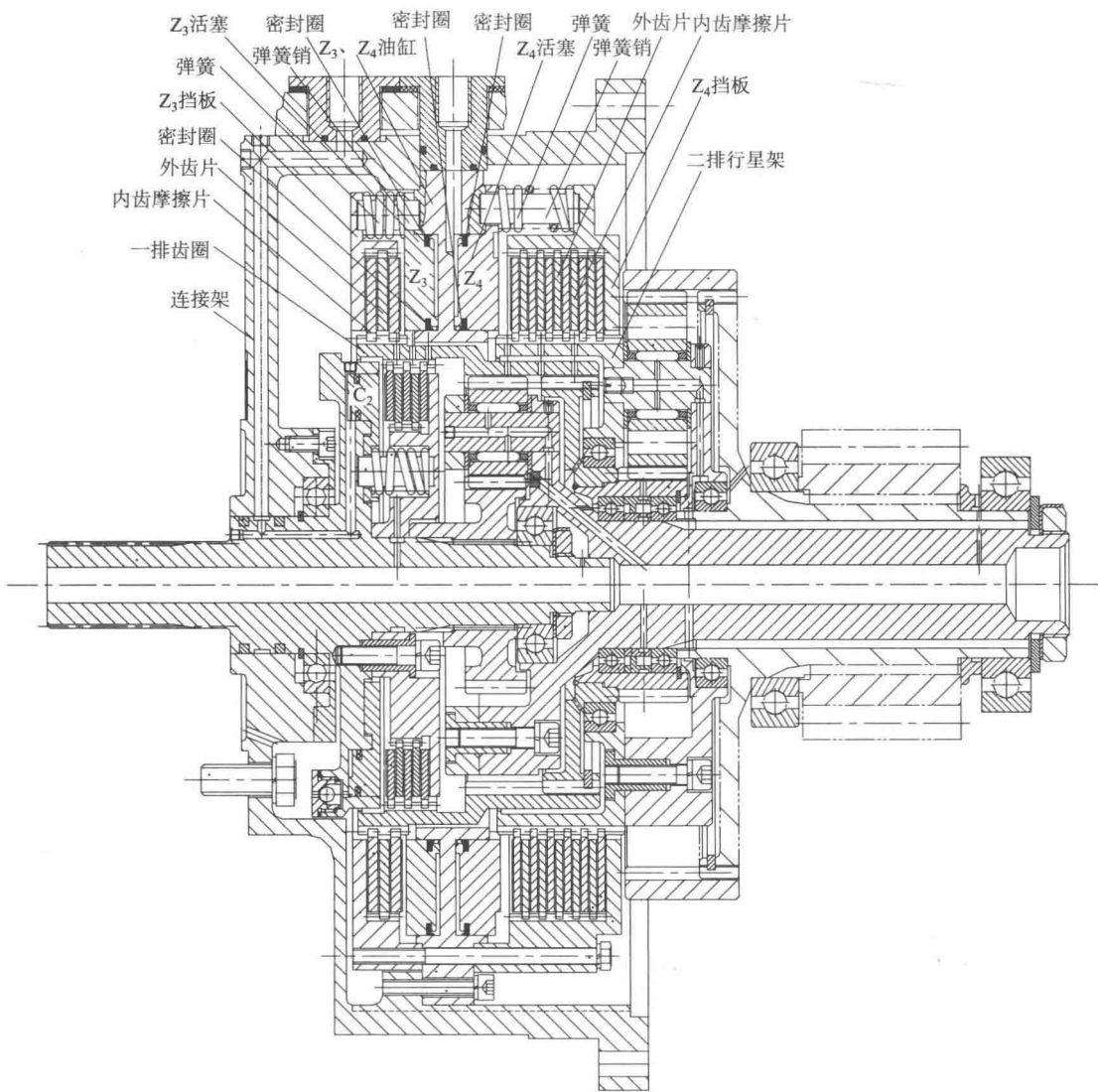


图 8-6-4 片式制动器

图中有两个湿式多片式制动器。Z₃ 制动器制动的是一排的齿圈，Z₄ 制动器制动的是二

排的行星架，两个制动器的结构形式相同。下面以 Z_4 为例进行结构介绍。

Z_4 制动器主要由油缸、挡板、活塞、外齿片、内齿摩擦片、二排行星架等组成。

Z_4 制动器的油缸和 Z_3 制动器的油缸是一个整体，用螺栓与连接架连接成一体，连接架与变速箱体用螺栓固定，是制动器的固定件。 Z_4 制动器上加工有控制油的进油油道。 Z_4 制动器的油缸还通过螺栓和弹簧销固定着制动器的压板，压板同时是制动器的内毂。内毂套接着外齿摩擦片，外齿片与内齿摩擦片间隔安装，内齿摩擦片套接在二排行星架的外鼓花键上。油缸内安装着制动器活塞。

制动时，油缸内通入控制油，活塞在油压的作用下克服弹簧力右移，并压紧摩擦片，使旋转的二排行星架逐渐降低转速，最终停止转动，与变速箱体保持静止。

结束制动时，卸掉控制油压，活塞在弹簧的作用下左移，摩擦副间的压力消失，行星架又恢复到原来的状态。

图 8-6-5 所示为某综合传动装置的停车制动器，它采用干式摩擦片式，其摩擦副采用金属陶瓷。停车制动器在结构上与侧减速器制成一个部件，它有带两个摩擦表面的单旋转盘。

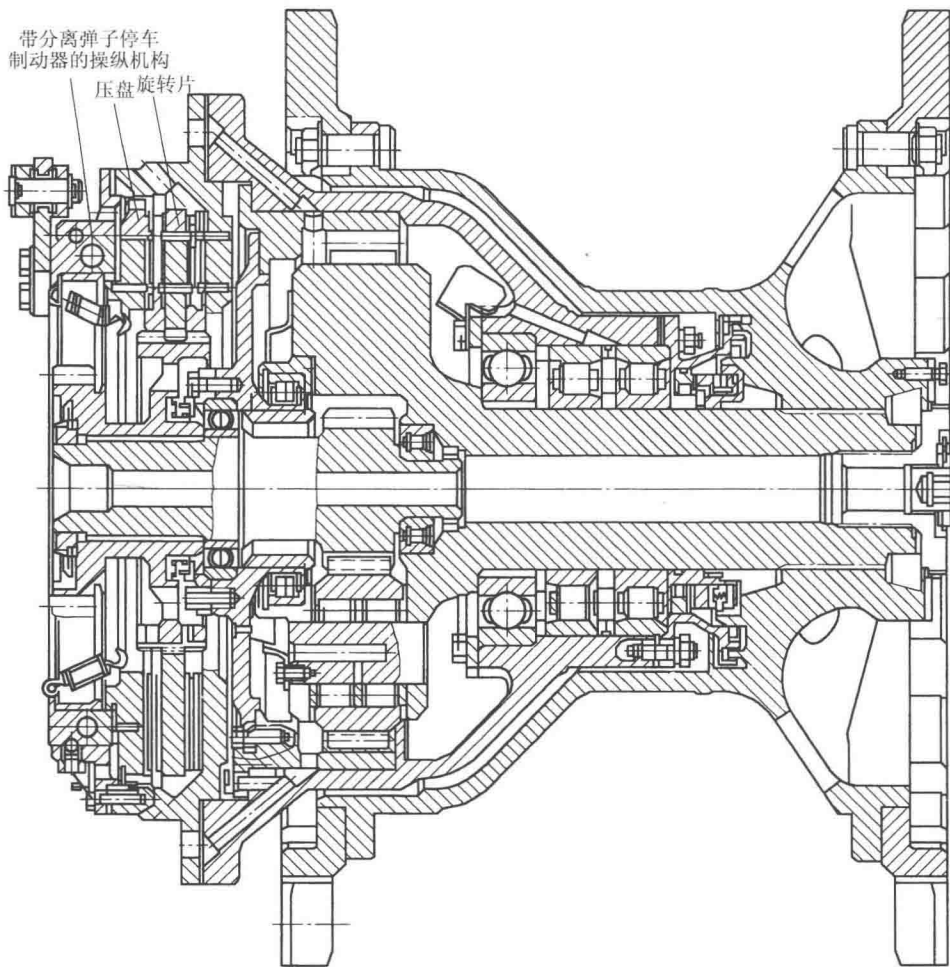


图 8-6-5 干式摩擦片式停车制动器

三、盘式制动器

与前两种制动器相比较,当制动力矩相同时,盘式制动器径向尺寸小。同时,盘式制动器具有磨损匀称、间隙自动调整、制动能力强、制动性能稳定等特点。目前,盘式制动器在民用轮式车辆上应用得非常多。结构上,盘式制动器又有全盘式、钳盘式、弹子盘式几种形式。

钳盘式制动器种类较多,根据制动钳固定在支架上的结构形式,可将其分为固定式制动钳和浮动式制动钳两类。

盘式车轮制动器的基本结构如图 8-6-6 所示。

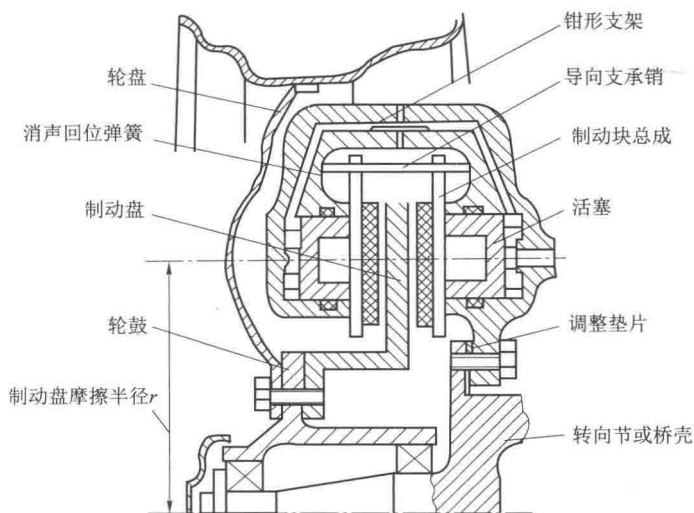


图 8-6-6 盘式车轮制动器基本结构图

盘式车轮制动器主要由制动盘、制动钳、支架和防尘罩等组成。

制动盘是固定在车轮上的旋转元件,它以端面为工作表面,一般是合金铸铁圆盘。与其形成摩擦副的制动块总成的面积不大,一般有两块或四块。这些制动块及其支承压紧装置都装在跨于制动盘两侧的夹钳形支架上,总称为制动钳。制动钳通过螺栓与转向节或桥壳上的支架固装,并用调整垫片来调整制动钳与制动盘之间的间隙。

(1) 典型固定式制动钳的构造

用四个螺钉连接的制动钳壳体由内、外两半组成。制动盘伸入制动钳内的两个制动块之间(图 8-6-7)。制动块由摩擦片和钢质底板黏结而成,通过两根固定在壳体内的导向销悬装在壳体上,并可沿导向销轴向移动。消声回位弹簧使两制动块分开。内、外两侧壳体为液压轮缸缸体,其中各有一个活塞。轮缸壁上嵌有矩形截面的橡胶密封圈。内轮缸油道上方装有放气螺塞。

(2) 典型浮动式制动钳构造

制动钳支架与车桥固定连接,其上装有带导向套筒的螺钉销。制动钳体的内、外侧凸缘分别滑支于螺钉销的尾部和导向套筒上,可同内制动块一样沿螺钉销轴向浮动。制动钳外侧固装着制动块,内侧有制动轮缸,中空的活塞内有一支承弹簧支承着制动块的底部边缘。制

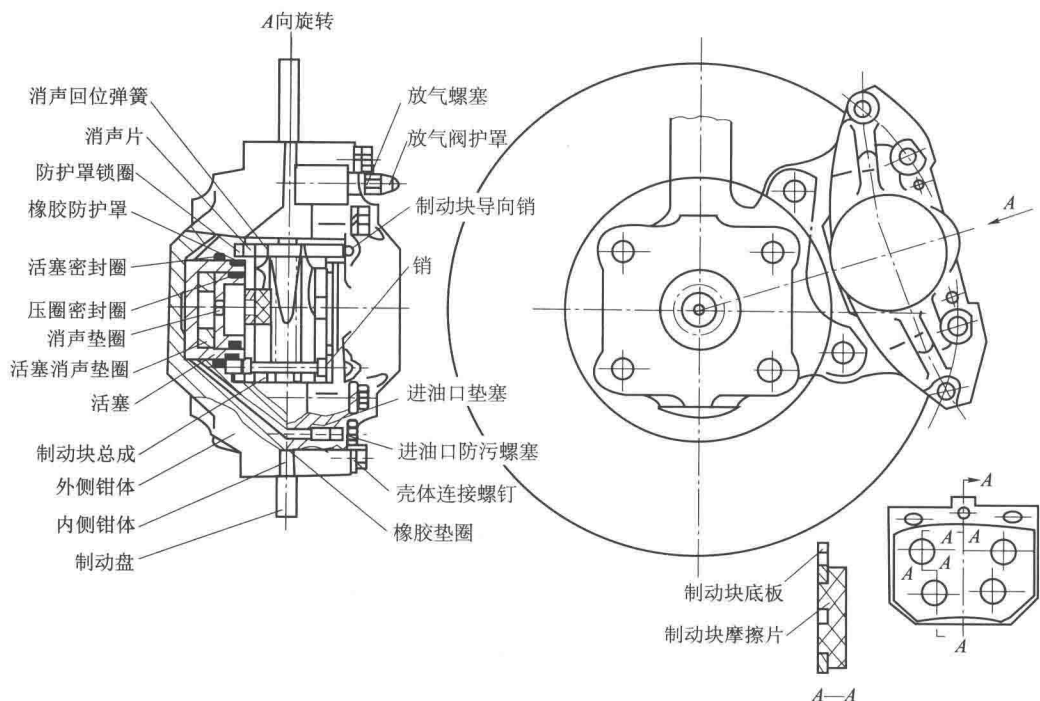


图 8-6-7 典型固定式制动钳的构造

动时，活塞推动内制动块压靠到制动盘上，同时整个制动钳沿螺钉销向内侧移动，从而使外制动块也压紧到制动盘上，如图 8-6-8 所示。

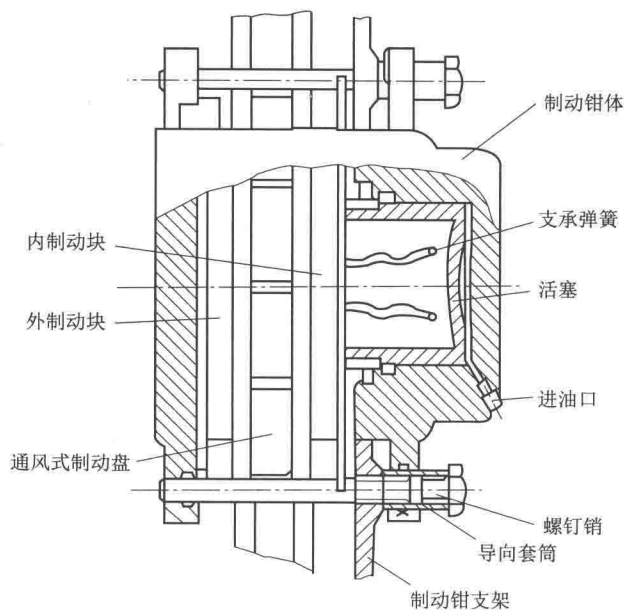


图 8-6-8 浮式制动钳

四、鼓式制动器

鼓式制动器多用于轮式车辆的车轮制动。

(一) 工作原理

图 8-6-9 所示是鼓式制动器的原理图。与车轮的轮毂固定在一起的制动鼓以内圆柱面为工作面，两个弧形制动蹄支承在固定的制动底板上的两个支承销上，可绕支承销偏摆。制动凸轮轴支承在制动底板的座孔上。两个制动蹄的上端在制动蹄回位弹簧的拉力作用下紧靠制动凸轮的两侧。制动摇臂的下端固定在凸轮轴上，上端通过拉杆与制动踏板相连。

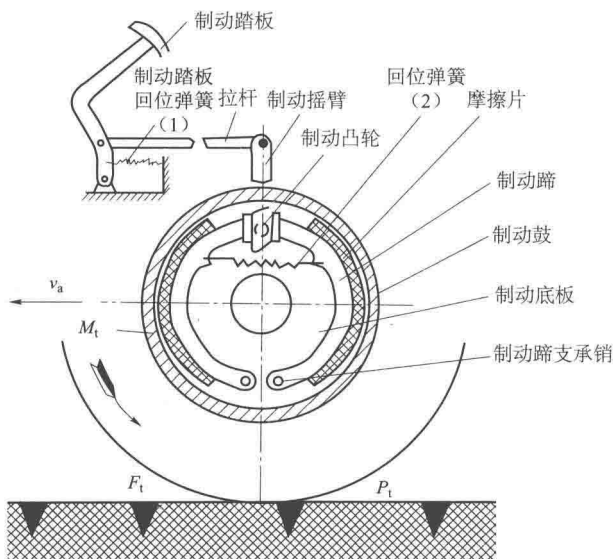


图 8-6-9 鼓式制动器工作原理

未踏下制动器踏板时，踏板、拉杆、摇臂及制动凸轮在踏板回位弹簧的作用下位于图示位置。两个制动蹄摩擦片外圆与制动鼓的内圆之间保持一定的间隙。制动鼓随车轮一起旋转，制动器未起制动作用。

踏下制动踏板时，制动凸轮顶开制动蹄的上端，使制动蹄绕支承销偏转，并通过摩擦片压紧制动鼓，制动蹄对制动鼓产生一个与车轮旋转方向相反的摩擦力矩，迫使车辆减速或停车。

松开制动器踏板时，回位弹簧(1)拉力使踏板、拉杆、摇臂及制动凸轮回位；同时，回位弹簧(2)使制动蹄回位。制动蹄摩擦片和制动鼓之间的间隙恢复，摩擦力矩消失，制动解除。

(二) 鼓式制动器的构造

某轮式装甲输送车的鼓式制动器如图 8-6-10 所示，结构上由固定部分、旋转部分、凸轮张开机构和调整机构组成。

固定部分主要由制动底板、护板、制动蹄等组成。制动底板通过螺栓固定在转向节的凸缘上。支承销压装在制动底板上。制动蹄通过衬套(3)支承在支承销上，可绕支承销摆

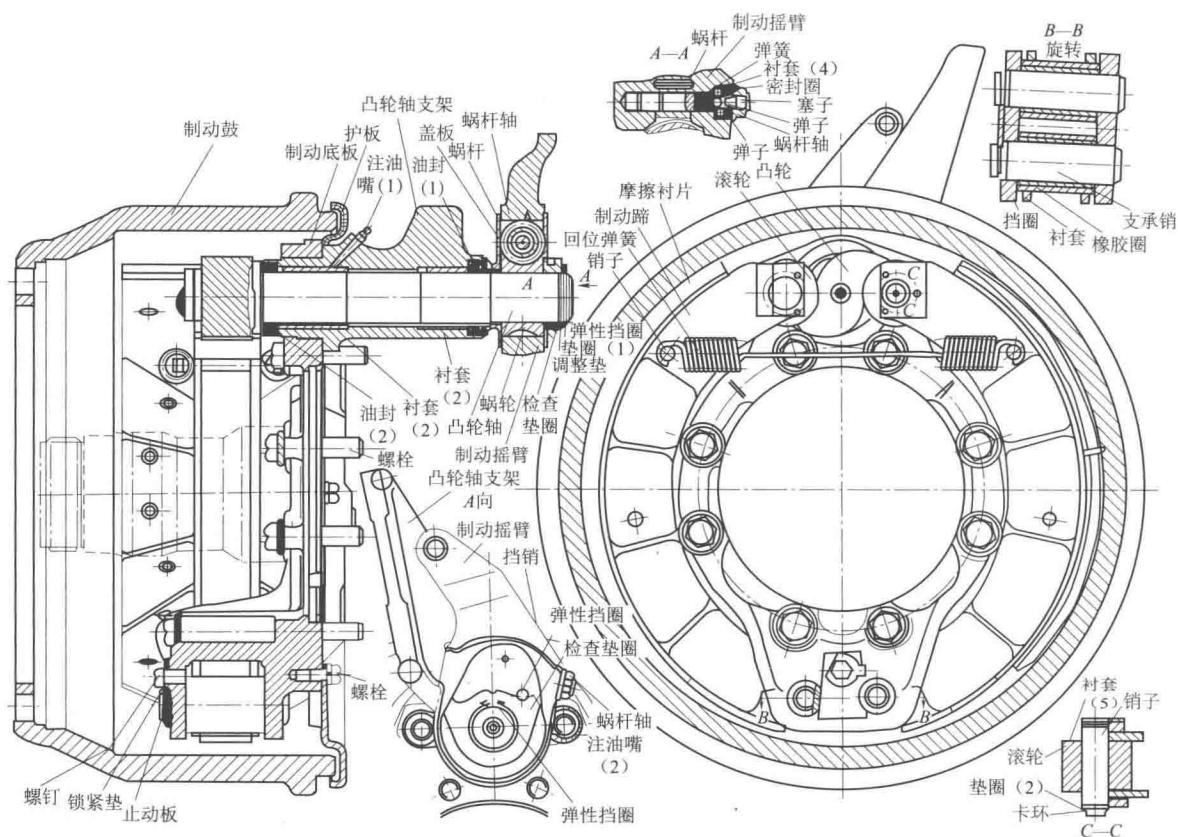


图 8-6-10 轮式装甲输送车的鼓式制动器

动。制动蹄回位弹簧将两个制动蹄拉紧，使滚轮始终压在凸轮上。

制动鼓用螺栓固定在车轮轮毂的凸缘上，与车轮一起旋转，是制动器的旋转部分。

驾驶员踏下制动踏板时, 制动摇臂转动, 并通过蜗杆带动蜗轮转动, 进而带动凸轮轴转动, 凸轮转动迫使制动蹄张开, 压紧在制动鼓上, 使制动鼓连同车轮迅速减速, 甚至停车。

(三) 分类

鼓式车轮制动器多为内张双蹄式。按制动时两制动蹄对制动鼓径向力的平衡情况, 车轮制动器可分为非平衡式、平衡式(单向助势、双向助势)和自动增力三种。

(1) 非平衡式制动器

该制动器按张开装置不同,可分为液力轮缸张开式和气压凸轮张开式,其基本结构由旋转部分、固定部分、定位调整机构组成。图 8-6-11 所示为液力轮缸张开式。

(2) 平衡式车轮制动器

车轮制动器的助势蹄能提高制动效能，由此出现了前后制动蹄均为助势蹄的平衡式车轮制动器。只在前进制动时两蹄为助势蹄，倒车制动时两蹄均为减势蹄的称为单向助势平衡式车轮制动器；而无论在前进和倒车制动时两蹄都为助势蹄的称为双向助势平衡车轮制动器。

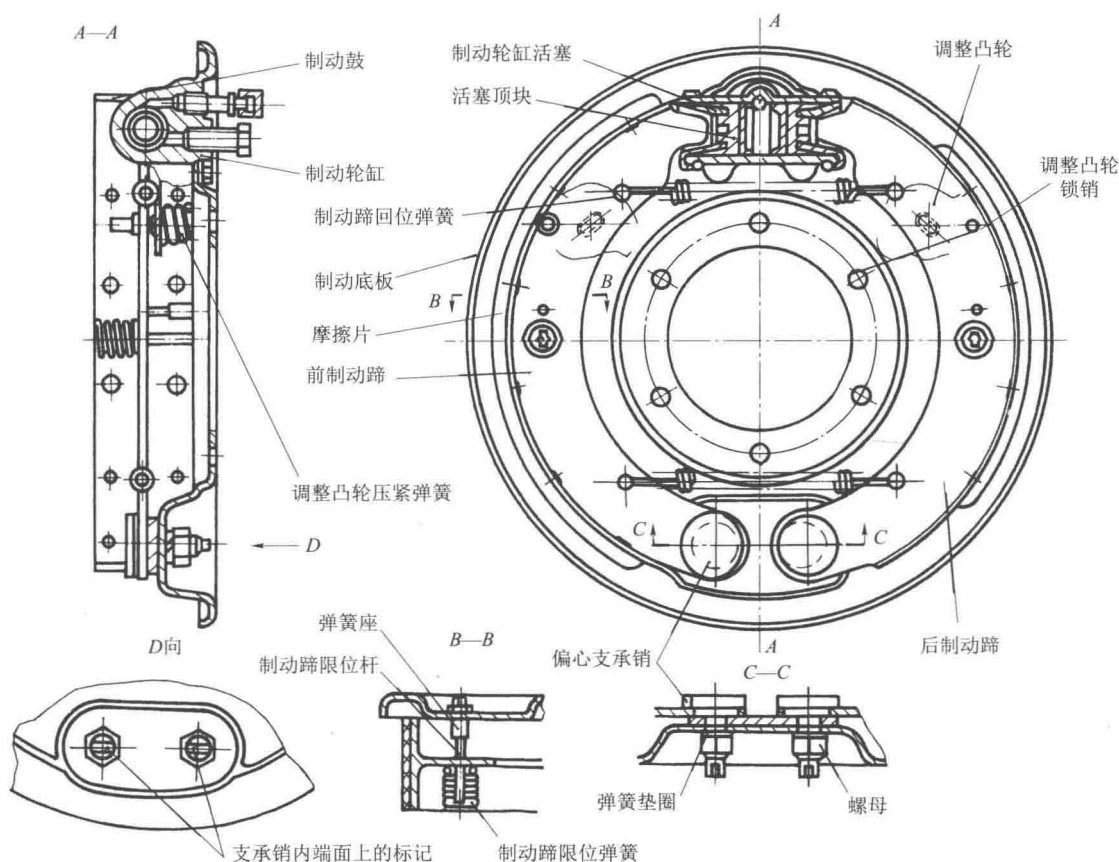


图 8-6-11 液压轮缸张开式车轮制动器

1) 单向助势平衡式制动器

该制动器的两制动蹄各用一个单活塞的制动轮缸，而且两套制动蹄、制动轮缸、偏心支承销和调整凸轮等在制动板上对称布置（图 8-6-12）。

2) 双向助势平衡式制动器

对称的两个轮缸内装入两个双向活塞，两个制动蹄的两端即是支承点，又是张开力的作用点。力点的作用随制动鼓旋转方向的不同能相互转换，使车辆前进或倒车时均可得到相同的助势制动效能，这便是双向助势平衡式制动器（图 8-6-13）。

(3) 双向自动增力式制动器

双向自动增力式制动器的增力原理如图 8-6-14 所示，两制动蹄用推杆浮动铰接，利用传力机件的张开力使前制动蹄产生助势推动后制动蹄，然后总的摩擦制动力矩进一步增大。

图 8-6-15 所示为一种蹄鼓间隙可自动调整的自动增力式制动器。

摩擦片磨损后，制动踏板的空行程相应增大。车辆倒车制动时，后蹄会离开支承销，然后通过拉索或杠杆等连接件自动改变连接两蹄的推杆长度，从而使蹄鼓间隙得到调整。

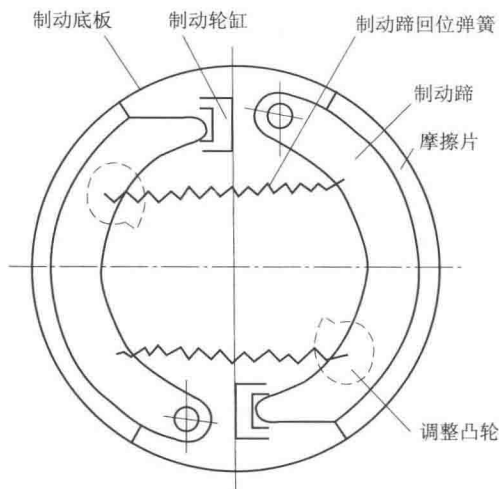


图 8-6-12 单向助势平衡式制动器结构示意图

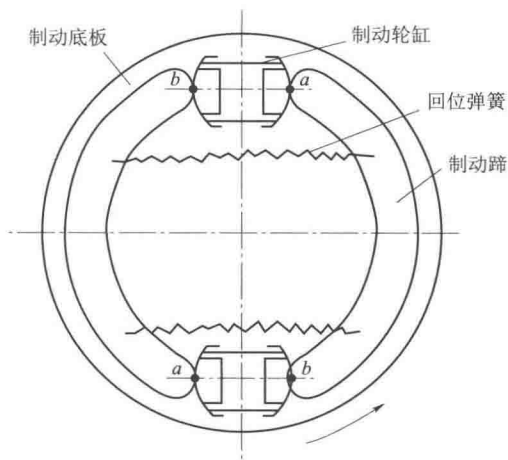


图 8-6-13 双向助势平衡式制动器结构示意图

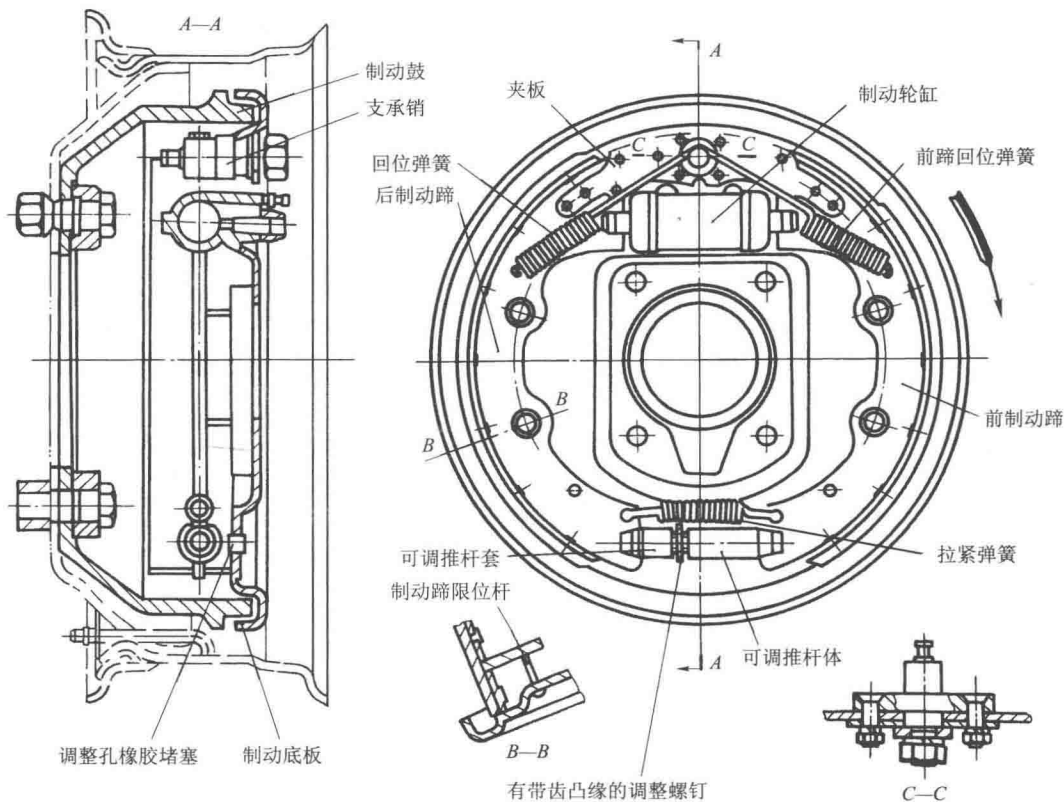


图 8-6-14 双向自动增力式制动器

综上所述，就制动效能来看，自动增力式制动器对自动助势的效果利用得最充分，产生的制动矩最大。平衡式制动器次之。但是，自动增力式制动器制动蹄对鼓的法向力

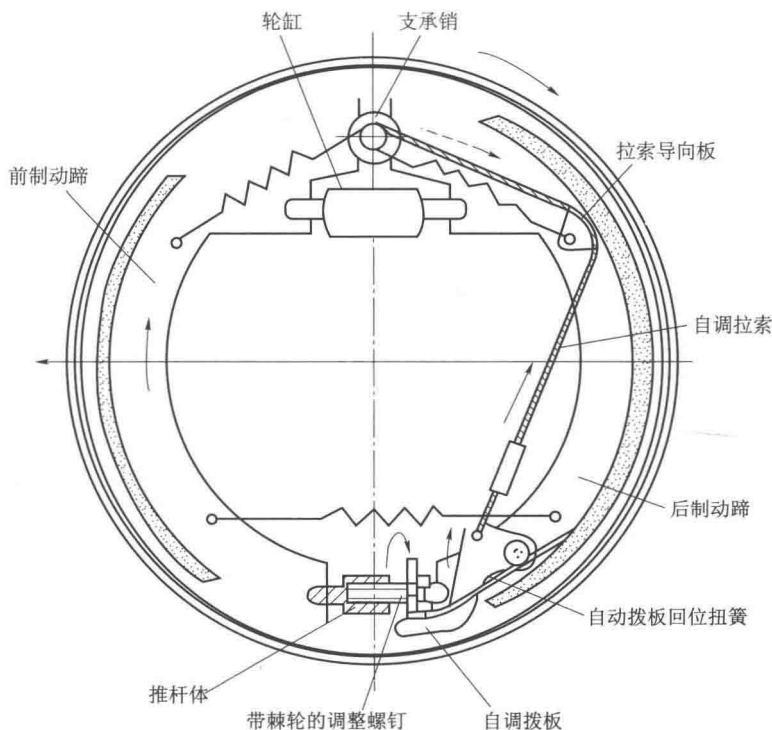


图 8-6-15 具有蹄鼓间隙自调装置的自动增力式制动器

和摩擦力是不等的。自动增力式制动器对摩擦系数变化比较敏感，制动器沾水、沾油后制动性能下降太多，制动性能不稳定，因此多被用于需要制动效能高且又不另设大的驱动源的车轴上。

第七节 液力传动

一、概述

液力传动是 20 世纪初作为船舶动力机构（汽轮机）与执行机构（螺旋桨）之间的传动机构，应用于船舶工业。当时，由于受气蚀限制，螺旋桨转速不能很高，无法匹配刚出现的大功率、高转速汽轮机，因此需要在汽轮机与螺旋桨之间设置大功率的减速装置，而当时齿轮的制造技术水平满足不了减速装置的需要。在此情况下，德国的盖尔曼·弗丁格尔教授提出如图 8-7-1 所示的设想：用原动机带动离心式水泵，集水槽中的水被水泵抽上来以后，通过管道冲击水轮机叶片，使水轮机旋转，水轮机再带动工作机转动。

这是液力变矩器的雏形。但这种原始方案的缺点是效率太低，无法应用于实际。盖尔曼·费丁格尔教授将离心泵和水轮机的工作轮尽量靠近，以具有新的几何形状的泵轮和涡轮取代离心泵和水轮机，构成一个共同的工作液体循环腔，并取消进、出水管和水槽等不必要的机构。液力传动及其传动元件——液力变矩器从此诞生，并在船舶工业中得到成功的应用。



在 20 世纪 30 年代,瑞典的阿尔夫·里斯豪姆与英国的史密斯合作,设计了里斯豪姆-史密斯三级液力变矩器,并将其成功应用于城市公共汽车。液力变矩器所具有的自动适应性极大地改变了公共汽车的传动特性,许多其他类型的车辆相继安装了液力变矩器。

军事工业对液力变矩器的成功应用，极大地促进了液力传动在其他行业的应用。国外的汽车、拖拉机、坦克、自动火炮、装甲运输车、装载机、铲运车、挖掘机以及内燃机车等很多机械和车辆采用了液力传动。

① 可使传动系统或装置自动获得无级变速和变矩能力而具备自动适应性。

③ 液力元件具有减振作用，可以衰减发动机曲轴的扭转振动，降低传动装置中的动负荷，提高发动机和传动部件的寿命。

④可减少排挡数,实现动力换挡或自动换挡,减轻驾驶员的操作强度和疲劳,提高安全行驶能力。

⑤ 液力传动系统的效率比机械传动系统的要低些, 经济性要差些。

⑥ 采用液力传动无法利用发动机制动和用牵引法启动发动机。

在传动系统中有一个或一个以上的环节采用液力元件传递动力，则该传动方式称为液力传动，或动液传动。依靠工作液体动能的变化传递或实现能量变换的元件称为液力元件，液力元件通常指液力偶合器、液力变矩器和液力制动器。

二、液力偶合器

利用液体将主动轴上的转矩大小不变地传递给被动轴的液力元件是液力偶合器，也称为液力联轴器，其结构特征是：主要由泵轮和涡轮两个工作轮组成（图 8-7-2）。

泵轮连接着发动机，涡轮连接着变速箱。泵轮和涡轮都加工有叶片，在两泵轮和涡轮之间充有液体。发动机带动泵轮旋转，泵轮叶片就搅动工作液体一起运动。高速转动的工作液体在离心力作用下冲击涡轮上的叶片，从而带动了涡轮转动。

在偶合器内，工作液体由泵轮流到涡轮再流回泵轮的不断循环的空间，由泵轮和涡轮的内、外侧两个环形曲面及叶片所组成，称为偶合器的工作腔。工作腔在通过回转轴的截面内所表示出的形状称为循环圆。偶合器的循环圆以旋转轴为中心线形成两个完全对称的部分，通常只以中心线一侧的图形来表示（图 8-7-3）。循环圆的最大直径 D 称为循环圆的有效直径，为偶合器的表征尺寸。

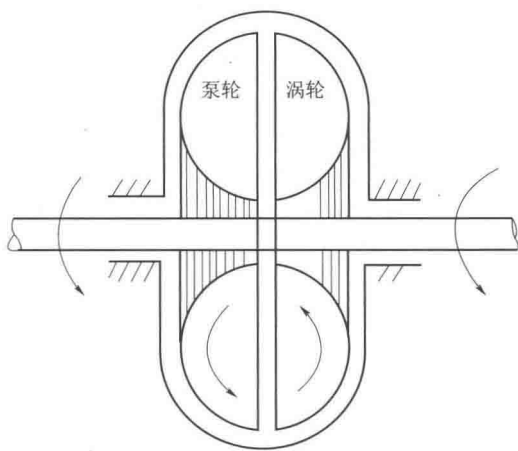


图 8-7-2 液力偶合器

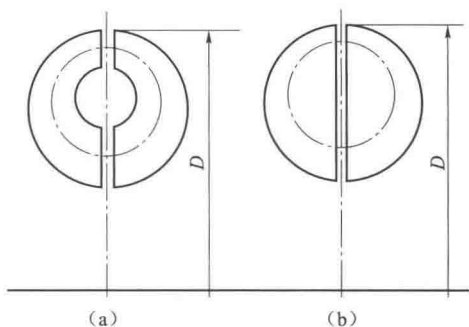


图 8-7-3 液力偶合器的循环圆

(a) 有内环；(b) 无内环

液力偶合器只有泵轮和涡轮两个工作轮，其中泵轮输入，涡轮输出。根据作用力矩平衡原理，偶合器只能传递发动机扭矩，不能改变扭矩大小，相当于离合器或联轴器。泵轮转速一定而涡轮转速较小时，可以传递的扭矩较大；传递的扭矩随涡轮转速增加而减小；当涡轮与泵轮转速相同时，不能传递扭矩，此时工作液体只随工作叶轮旋转，而没有循环流动。图 8-7-4 所示为液力偶合器的特性曲线图。

按照性能，液力偶合器可以分为普通型、限矩型和调速型三种类型。

（一）普通型液力偶合器

普通型液力偶合器是液力偶合器的基本形式，是没有任何限矩、调速及其他措施的液力偶合器。这种偶合器结构最简单，只有泵轮、涡轮、外壳、输入轴、输出轴、易熔塞等零件，结构如图 8-7-5 所示。

普通型液力偶合器泵轮力矩系数较高，启动能力强，过载系数高达 6~20。其轴向尺寸短、价格低廉，无过载保护功能，常常是全充液工作，启动力矩大，用于只需要解决启动困难、隔离冲击扭振而不需要过载保护的工作机上。

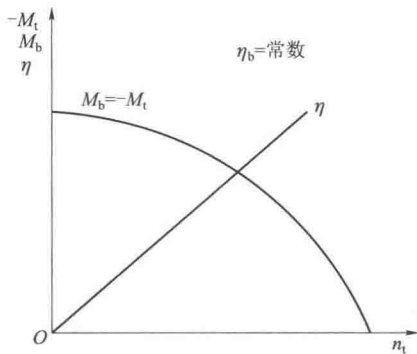


图 8-7-4 液力耦合器的特性曲线

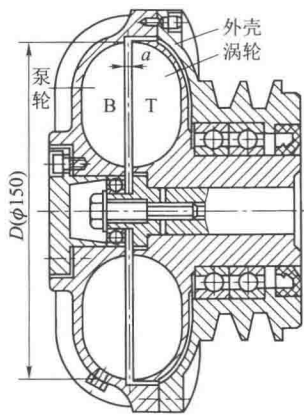


图 8-7-5 普通型液力耦合器 (V 带轮式)

(二) 限矩型液力耦合器

限矩型液力耦合器是采用某种措施在低转速比时限制力矩升高的液力耦合器。

限矩型液力耦合器在普通型液力耦合器的基础上，增加了为限矩而设置的前辅腔、后辅腔、侧辅腔、挡板等构件。

限矩型液力耦合器特性曲线比较平缓，启动过载系数低、启动性能和过载保护性能优良，其轴向尺寸比普通型液力耦合器的长，结构比较复杂，用于需要解决启动困难、过载保护、减缓冲击及扭振和协调多动力机均衡驱动及柔性制动的工作机上。

限矩型液力耦合器按照限矩原理，可以分为挡板式、静液泄液式、动液泄液式、复合泄液式、阀控延充式以及多角形腔式等。图 8-7-6~图 8-7-9 所示是限矩型液力耦合器的几种基本类型，在基本形式下又派生出几十种派生形式。

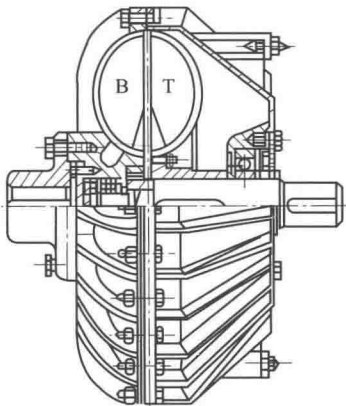


图 8-7-6 静液泄液式限矩型耦合器

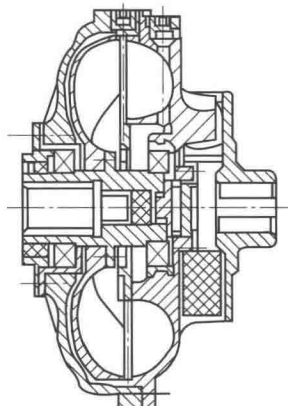


图 8-7-7 动液泄液式 (带前辅室) 限矩型耦合器

(三) 调速型液力耦合器

调速型液力耦合器在负载一定时，通过调节流道内的阻力或充液量的方法来调节工作机械的转速。调速型液力耦合器常与异步电动机配合，对工作机械进行无级调速。

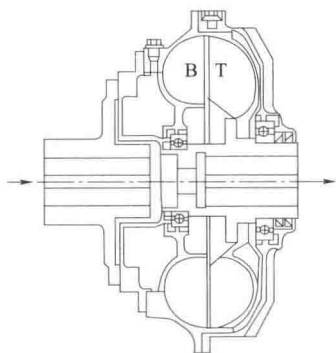


图 8-7-8 动液泄液式（带后辅室）限矩型偶合器

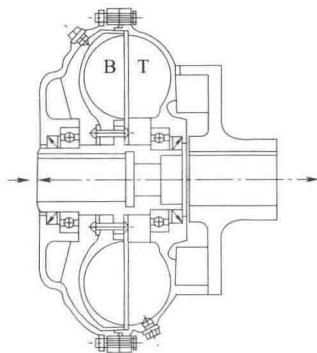


图 8-7-9 复合泄液式限矩型液力偶合器

三、液力变矩器

能够改变输出轴上传递转矩大小的液力元件称为液力变矩器。
液力变矩器主要由泵轮、涡轮和导轮三个工作轮组成（图 8-7-10、图 8-7-11）。

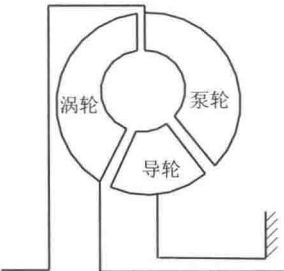


图 8-7-10 液力变矩器示意图

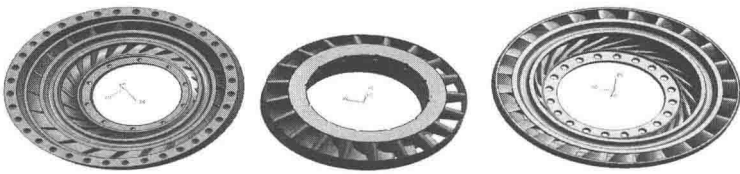


图 8-7-11 液力变矩器工作轮

相比液力偶合器，液力变矩器的导轮固定不动，也叫作反应器。工作液体在三个工作轮叶片之间循环流动时，不但能传递发动机动力，而且可以自动改变发动机传递到传动系扭矩的大小。

液力变矩器工作时，原动机拖动泵轮旋转，泵轮叶片搅动工作液体，工作液体随泵轮旋转并在离开泵轮时获得了动能和压能。离开泵轮的高速液流随即冲击涡轮的叶片，使涡轮在克服外部负载形成的阻力后带动负载旋转，从而将动力传出。从涡轮流出的液流流入导轮，因导轮静止不动，液流速度大小和方向都发生了变化，导致了液体动量矩改变，相当于导轮对液流施加了一个反力矩。这个变化着的反力矩与泵轮的力矩方向相同。这个反力矩大小随着涡轮转速的变化而变化。液力变矩器之所以能改变输出力矩的大小，就是因为有导轮产生的反力矩的存在。图 8-7-12 所示为液力变矩器的特性曲线图。

从特性曲线上看，液力变矩器的效率先是随涡轮转速的升高而升高；当涡轮转速升高到一定转速后，效率反而下降，这种特性对车辆传动是不利的。反过来看耦合器的

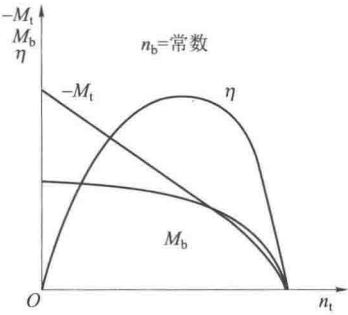


图 8-7-12 液力变矩器的特性曲线

特性曲线（图 8-7-4），耦合器的效率随涡轮转速的升高一直升高。如果在涡轮转速升高到一定程度后，将变矩器转变成耦合器，那么变矩器的效率就会好很多，这就是带单向联轴器的液力变矩器。

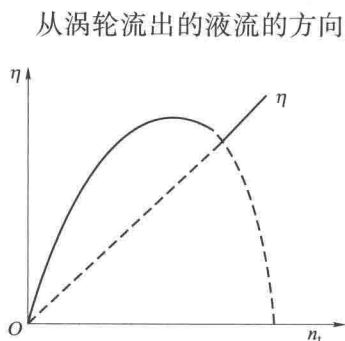


图 8-7-13 带单向联轴器的液力变矩器效率特性曲线

从涡轮流出的液流的方向是随涡轮的转速变化而变化的，当涡轮转速低时，从涡轮流出的液流冲击导轮叶片的 *A* 面，使联轴器锁紧结构锁住导轮，保持导轮静止；当涡轮转速升高到一定程度后，从涡轮出口流出的液流冲击导轮叶片的 *B* 面，单向联轴器解脱，导轮自由旋转，这时变矩器不变矩，变成耦合器来工作，这种变矩器称为综合式变矩器，其特性曲线如图 8-7-13 所示。

液力变矩器在结构形式和性能上多种多样，比较常见的有以下几种分类方法。

按涡轮形式可将变矩器分为向心式、离心式和轴流式三种。

涡轮形式，可用涡轮中间流线出口和入口半径的比值 $f_T = R_{T2}/R_{T1}$ 来区分。

向心式： $f_T = 0.55 \sim 0.65$ ，最高效率值比另外两种高，可达 86%~91%；坦克装甲车辆上使用的一般是向心式液力变矩器。

轴流式： $f_T = 0.9 \sim 1.1$ 。

离心式： $f_T = 1.2 \sim 1.5$ 。

运输式车辆应用液力变矩器能带来很多优点：提高起步性能、加速性能、换挡性能，提高平均行驶速度，减振隔振，提高寿命等。但是，由于液力变矩器的效率接近抛物线形状，并且随工况变化，其最高效率仅在一或很窄的工况区内出现，最高也不超过 0.9。与机械传动相比，液力传动的效率较低、耗油量高、经济性差，并且需要强制散热，增大了液力传动的体积、质量和成本。

为此，变矩器在泵轮和涡轮之间增设了一个闭锁离合器，使变矩器的涡轮和泵轮转速接近时，闭锁离合器结合，使变矩器成为高效率的机械直接传动。这样可以在起步、变速时发挥液力传动的优点，而在匀速行驶时发挥机械传动的优势。

采用闭锁离合器的变矩器通常有两种方案（图 8-7-14）。

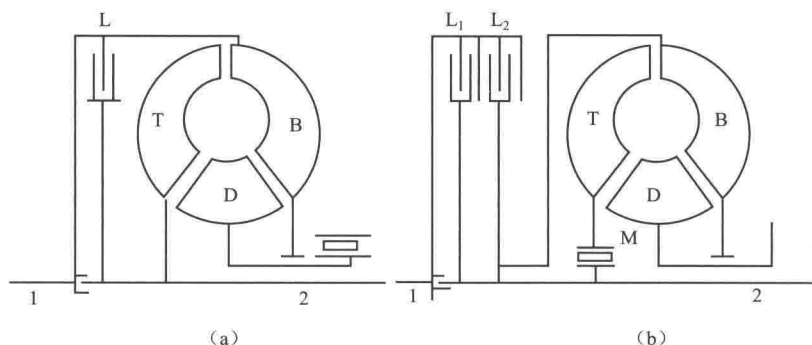


图 8-7-14 带闭锁离合器的液力变矩器结构简图

第一种方案（a），低速比时，单向联轴器楔紧，导轮不动。当闭锁离合器结合时，单

向联轴器脱开导轮，导轮自由旋转以减小液力损失。此时变矩器是直接机械传动，其效率仅接近 1。

第二种方案 (b)，离合器 L_2 结合、 L_1 分开时为液力传动。动力经离合器 L_2 传至泵轮、涡轮，再经单向联轴器传至输出轴。

当 L_1 结合、 L_2 分离时，泵轮由离合器 L_2 脱开，涡轮由单向联轴器脱开，液力变矩器的所有工作轮均停止不转，液力变矩器脱开，进入直接的机械传动，动力直接传至输出轴。这种方案的传动效率较第一种方案的高，但这种方案较前一种多一个离合器，并且结构复杂，因此在实际中较少有应用。

带闭锁离合器的变矩器在车辆上使用时，一般仅在平坦路面、高档行驶时才闭锁变矩器。另外，闭锁离合器解决了拖车无法启动发动机和下长坡时无法利用发动机制动的问题。

图 8-7-15 所示为某坦克用的带闭锁离合器的三元件综合式液力变矩器结构图。

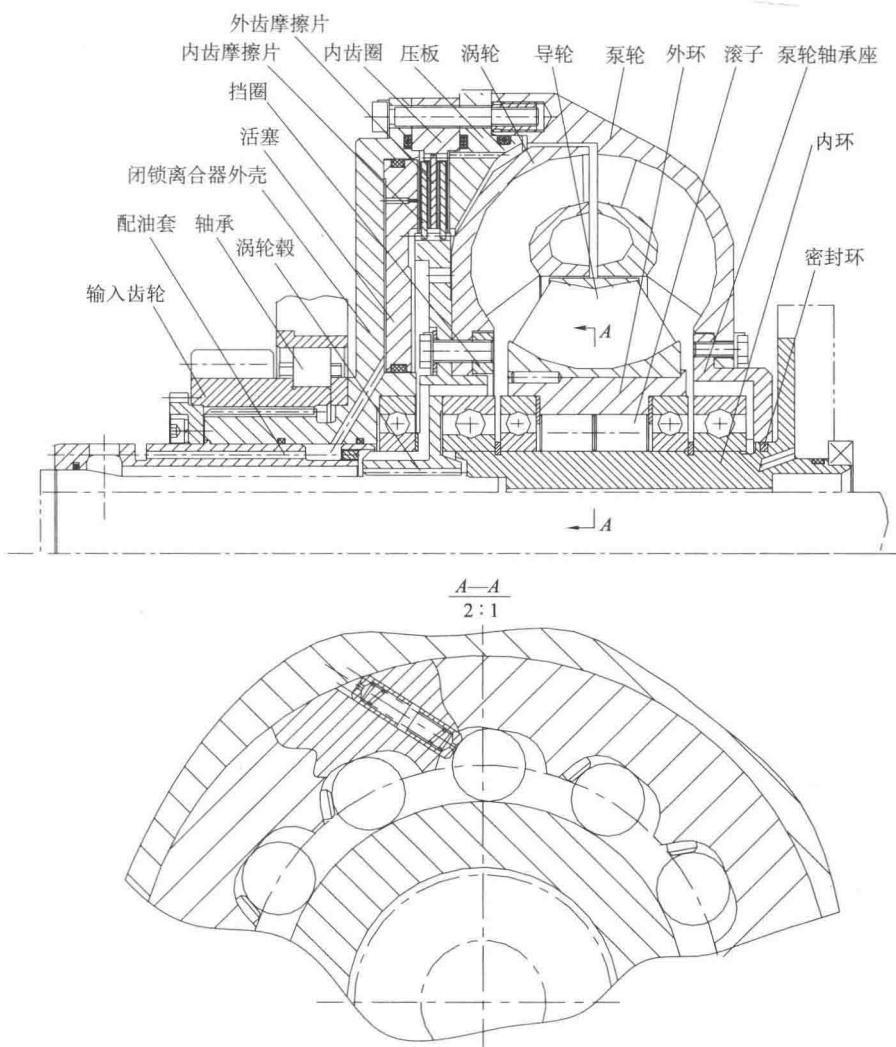


图 8-7-15 某坦克用带闭锁离合器的液力变矩器结构图

该变矩器主要由泵轮、涡轮、导轮、单向联轴器和闭锁离合器等组成。

动力由输入齿轮输入，输入齿轮和闭锁离合器外壳通过花键连接在一起。闭锁离合器外壳内装着活塞，并与内齿圈、压板、泵轮用 30 颗螺栓连在一起。泵轮与泵轮轴承座用螺钉连接。泵轮一端通过轴承支撑在单向联轴器的内环上，内环与变速箱的支架固定；泵轮的另一端通过无外圈的滚子轴承支撑在变速箱的中间支架上。

内环与外环之间用滚子隔开，外环内面加工有楔形的滚子滚道，楔形滚道的宽边处加工有倾斜孔，孔内装有弹簧和弹簧座，弹簧将弹簧座定在滚子圆柱表面上。外环与导轮过盈连接，并在接合面上打入传力销。外环通过两个球轴承支撑在内环上，两个球轴承里端安装有挡圈，用于防止滚子轴向窜动。内环上加工有变矩器补偿油入口通道，它与泵轮轴承座之间安装有密封环。

涡轮与涡轮毂用螺栓、传力销和挡圈固定在一起，并通过两个轴承支撑。涡轮毂内环处加工有内花键，用来连接输出轴；外环处加工有外花键，外花键上套接着两片闭锁离合器的内环摩擦片，两片摩擦片之间夹着一片外齿摩擦钢片，外齿摩擦钢片的外齿套接在与泵轮、闭锁离合器外壳固定于一体的齿圈内齿上。

变矩器补偿油由综合传动装置提供，补偿油一方面用于传递动力装置传来的功率，另一方面带走变矩器工作时产生的热量。补偿油从变矩器右端内环的油道进入泵轮，经过工作腔，从左端的涡轮毂内的油道、配油套流出，散热后供给变速机构以便润滑。

闭锁离合器控制油由综合传动装置的压力油箱提供，控制油从配油套上的油道进入闭锁离合器外壳内，去推动活塞压紧主、被动摩擦片，使泵轮与涡轮处于闭锁状态。

发动机输出的动力经综合变速箱中前传动机构传至输入齿轮，带动闭锁离合器外壳及活塞、内齿圈及外齿摩擦片、压盘、泵轮一同转动。同时，从泵轮叶片出口处流出的高速油液冲击涡轮叶片，使涡轮通过涡轮毂变速机构旋转。

当变矩器中涡轮转速较低时，循环圆中工作油液冲击导轮叶片的 A 面，使导轮有逆时针旋转的趋势。这样，外环中的滚子被压向小直径方向，导轮与外环无法滚动而被锁止不转。在这种情况下，由导轮产生的附加外力矩，在涡轮轴上将获得比泵轮轴上输入转矩大的输出力矩，这时变矩器处于变矩工况。当涡轮转速达到变矩器叶形角所设计的偶合器工况点转速时，工作油冲击导轮叶片的 B 面，迫使导轮顺时针旋转，这时导轮将带动外环、滚子在克服压缩弹簧张力后与涡轮一起沿顺时针方向转动，使变矩器变为偶合器工况工作，从而提高传动效率。

当车辆在起步、换挡和困难地面行驶时，变矩器在变矩工况下工作；当车辆在良好地面行驶时，通过控制系统向闭锁离合器油缸内通入控制油，使活塞轴向移动，从而将主、被动摩擦片紧压在压盘上，实现将泵轮输入与涡轮输出转变为机械传动。涡轮转速与泵轮转速相等，涡轮出口的液流冲击导轮叶片的 B 面，使单向联轴器内、外环脱开，导轮随着泵轮、涡轮一起旋转，这时效率接近于 1。

四、液力制动器

现代主战坦克车质量一般为 40~60 t，最高行驶速度为 60~70 km/h；民用大客车和重型货车质量大，最高车速超过 120 km/h，常用的机械式制动器已经很难满足车辆在高速行驶和下长坡时的减速和停车要求。单独长时间连续使用机械制动器还存在安全因素。因此，在

重型履带式车辆和大型轮式车辆上都安装有液力制动器来辅助车辆制动。

液力制动器又称液力减速器，也有称为液力缓速器，其结构如图 8-7-16 所示，主要由转子（泵轮）、定子（涡轮）、制动器轴和进排油控制系统等组成。

液力制动器工作时，转子和定子共同组成的工作腔内充入液压油。主轴带动转子旋转，转子将机械能转化成液体动能，液流以较高的速度和压力冲向定子叶片，使液体的动量矩增加。由于定子固定不动，机械能无法输出，而是在产生制动力矩的同时转化成热能，并通过散热装置将热量带走，因此制动器可以连续减速制动。为增大制动力矩，液力减速器转子和定子常采用前倾斜叶片；为减小液力减速器制动时产生的轴向力，往往采用双腔型来平衡轴向力。

液力制动器的制动力矩大小取决于工作腔内的充液量和旋转工作轮的转速。液力制动器的制动力与车速成正比，高速时制动力矩大，适于长时间连续制动工作，可提高车辆下长坡时的平均速度，并可减小摩擦或停车制动器的磨损。液力制动器性能稳定可靠，其最大制动功率由车辆的散热能力决定。液力制动器的缺点是低速时制动力小，在车上一般与机械制动器联合使用，用于高速时的减速制动。

按功能分类时，液力制动器可以分为单一减速制动型和牵引制动型两种。

单一减速制动型可以分为轮毂内置式、变速器内置式和轴间反转型三种。

轮毂内置式制动器的转子通过一个行星排与车轮的轮毂相连，结构紧凑，但径向尺寸受限制，减速能力有限。同时，因其靠轮毂散热，连续制动时间受限。图 8-7-17 所示为轮毂内置式制动器。

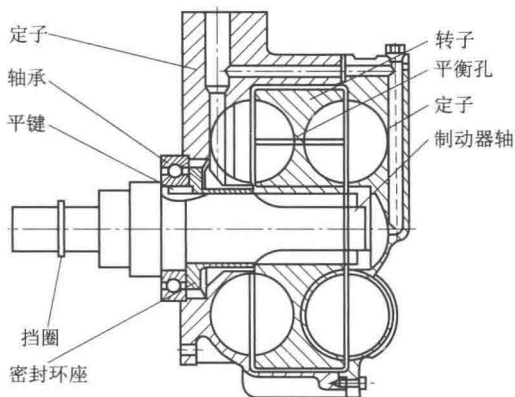


图 8-7-16 液力制动器结构示意图

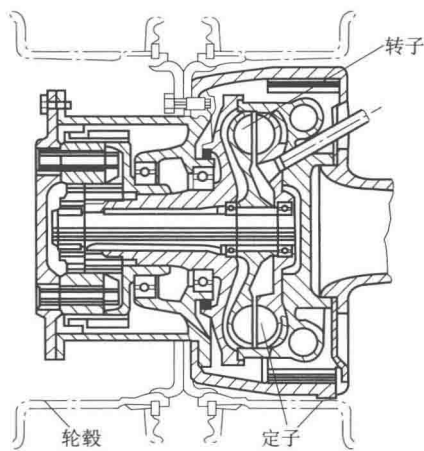


图 8-7-17 轮毂内置式液力制动器

变速器内置式制动器结构紧凑、转子转速高、径向尺寸大且制动力矩大。该型制动器与变速器的连接示意图如图 8-7-18 所示。

轴间反转型制动器的两个工作轮分别由车辆两轴驱动，一个正转，一个反转。制动器的力矩系数高，制动力矩大，可以在较低的转速下获得较高的制动力矩。图 8-7-19 所示为轴间反转型制动器示意图。

牵引、制动复合型可以分为制动轮式和涡轮反转型两种。

制动轮型制动器具备变矩器和制动器两种功能，结构上由泵轮、涡轮、导轮、两个制动轮组成。两制动轮刚性连接，减速时将制动轮制动。图 8-7-20 所示为制动轮型制动器的简图。

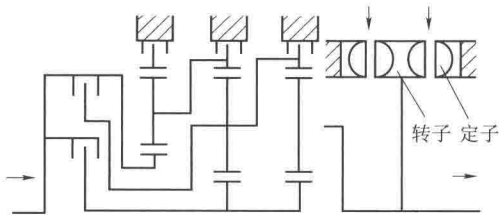


图 8-7-18 变速器内置式制动器

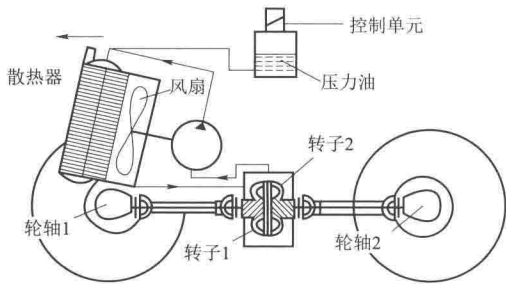


图 8-7-19 轴间反转型制动器

涡轮反转型由一个离合器、制动器、变矩器组成。制动时，离合器松开、制动器结合，同时通过倒挡机构使与输出端相连的涡轮反转，由液力冲击泵轮而产生制动力矩。图 8-7-21 所示为涡轮反转型制动器的简图。

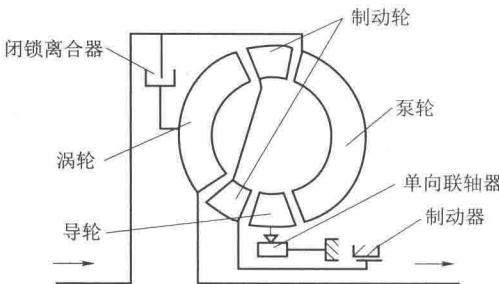


图 8-7-20 制动轮型制动器

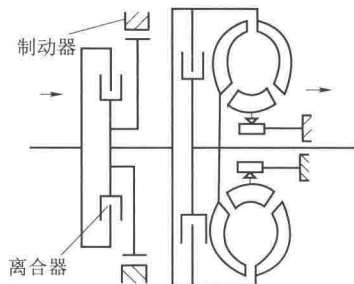


图 8-7-21 涡轮反转型制动器

第八节 液 压 传 动

一、概述

液压传动是基于帕斯卡原理，以液体为工作介质，利用流动液体的压力来传递能量的传动方式，又称静液传动。

（一）液压系统组成

液压传动系统主要由动力元件、执行元件、控制调节元件、辅助元件及传递能量的工作介质组成。

1. 动力元件

液压传动系统动力元件是供给液压系统压力油，把机械能转换成液压能的装置，主要指各种齿轮泵、叶片泵、螺杆泵和柱塞泵等。

轴向柱塞泵是将多个柱塞配置在一个共同缸体的圆周上，并使柱塞中心线和缸体中心线平行的一种泵。轴向柱塞泵按其结构特点分为直轴式（斜盘式）和斜轴式（摆缸式）两类。图 8-8-1 所示为 Y15-1 型直轴式（斜盘式）轴向柱塞泵的结构图。

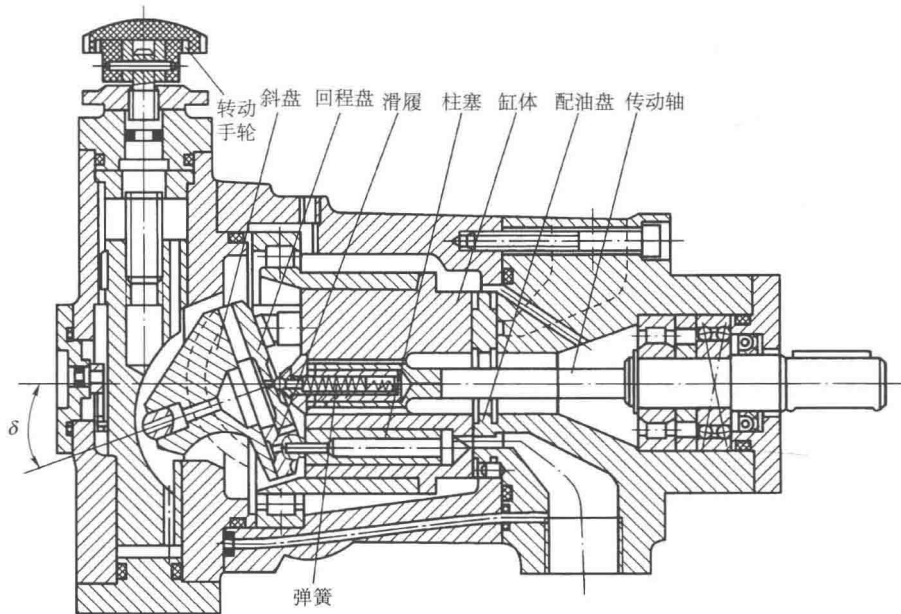


图 8-8-1 Y15-1 型斜盘式轴向柱塞泵的结构图

图 8-8-2 所示为直轴式柱塞泵的工作原理示意图。直轴式柱塞泵主要由斜盘、柱塞、缸体、配油盘等零件组成。配油盘和斜盘固定不转。内套筒在弹簧的作用下，通过回程盘使柱塞头部的滑履压在斜盘上；外套筒使缸体和配油盘贴紧，起密封作用。当主轴驱动缸体转动时，由于斜盘和回程盘的限制作用，迫使柱塞在缸体内做往复运动，各柱塞与缸体间的密封腔容积便周期性地增大或缩小，通过配油盘上的腰形吸油窗口和压油窗口即可实现吸油和压油。按照图 8-8-2 中所示回转方向，当缸体转角在 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围内时，柱塞向外伸出，柱塞底部缸孔的密封工作容积增大，并通过配油盘的吸油窗口吸油；当缸体转角在 $180^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内时，柱塞被斜盘推入缸体，缸孔容积减小，并通过配油盘的压油窗口压油。缸体

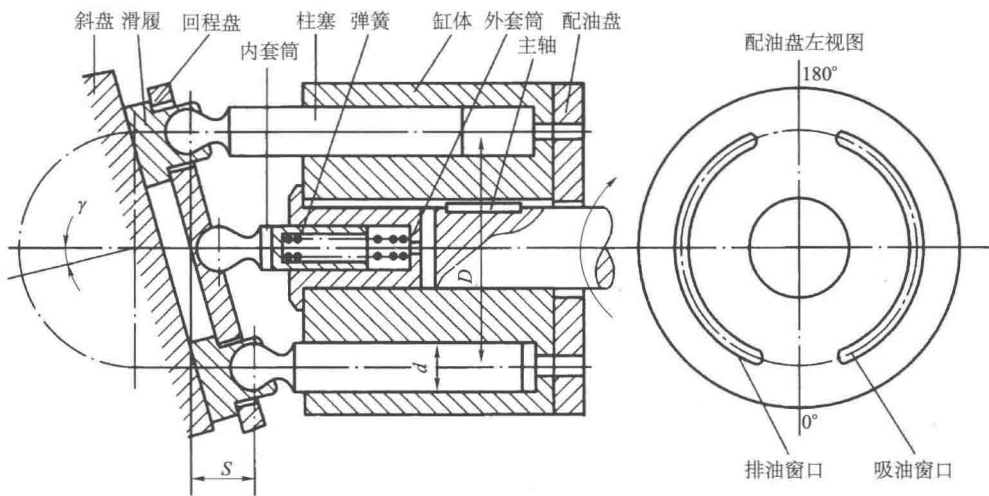


图 8-8-2 直轴式轴向柱塞泵的工作原理

每转一周，各个柱塞依次完成一次吸、压油。改变斜盘倾角 γ ，就能改变柱塞行程长度，即改变液压泵的排量；改变斜盘倾角方向，就能改变吸油和压油的方向，即成为双向变量轴向柱塞泵。

2. 执行元件

液压传动系统执行元件是把液压能转换成机械能，驱动工作机构做功的装置，主要有直线运动的液压缸、旋转运动的液压马达等。

液压马达是将液体的压力能转换成机械能的能量转换元件。液压马达按其结构类型不同，可以分为齿轮式、叶片式、柱塞式等形式；按照工作转速范围不同，可分为高速马达和低速马达两大类。

柱塞式马达结构和柱塞泵相似，下面以轴向柱塞马达为例，介绍液压马达的工作原理（图 8-8-3）。

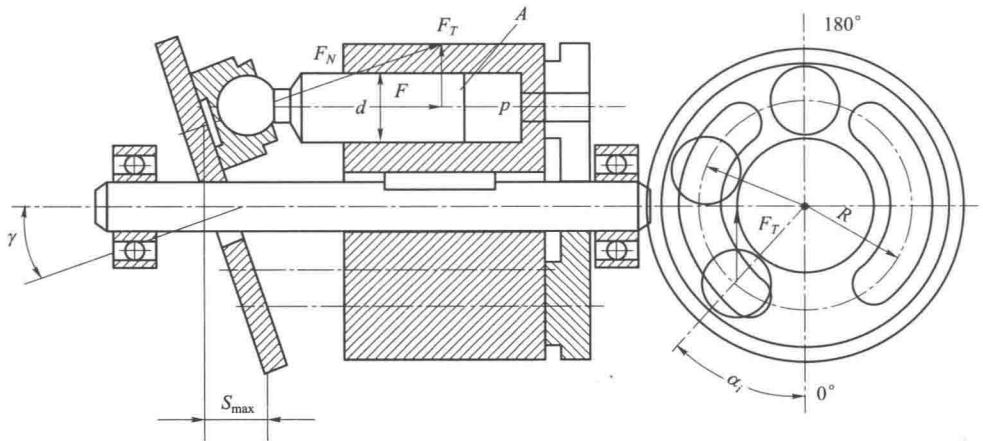


图 8-8-3 直轴式轴向柱塞马达的工作原理

如图 8-8-3 所示，马达斜盘相对于缸体轴线的夹角为 γ ，若配流盘的进油窗口输入压力为 p 的高压油液，则当压力油进入液压马达的高压腔之后，处在高压区的柱塞受到的油压作用力为 pA ，通过滑靴压向斜盘，其反作用力为 F_N 。 F_N 分解成两个分力，沿柱塞轴向分力 F 与柱塞所受液压力平衡，即 $F=pA$ ；切向分力 $F_T=pA \tan \gamma$ ，其对缸体轴线产生驱动马达旋转的转矩，大小由柱塞在压油区所处的位置而定。设处在高压区的第 i 个柱塞与缸体的垂直中心线成 α_i 角，则该柱塞使缸体产生的转矩 M_i 为

$$M_i = pAR \tan \gamma \sin \alpha_i$$

式中， γ ——斜盘的倾斜角度；

R ——柱塞在缸体中的分布圆半径。

随着 α_i 的变化，柱塞产生的转矩也变化，整个液压马达能产生的总转矩是所有处于高压区的柱塞产生的转矩之和，即

$$M_i = pAR \tan \gamma \sum \sin \alpha_i$$

由公式可以看出，马达输出的总转矩是脉动的。当柱塞的数目较多且为单数时，转矩脉动较小。当输入液压马达的油液压力一定时，液压马达的输出转矩仅和每转排量有关。因此，提高液压马达的每转排量，可以增加液压马达的输出转矩。

3. 控制调节元件

控制调节元件是对系统中的压力、流量或油液流动方向进行控制或调节的装置，如溢流阀、节流阀、换向阀等。

4. 辅助元件

辅助元件是对系统的正常工作起辅助作用的装置，如油箱、滤油器、蓄能器、冷却器、加热器、油管、流量计、压力表、管接头等。

5. 工作介质

工作介质是传递能量的流体，指各种水基型、合成型、石油型构成的传动油。

(二) 液压传动特点

1. 优点

① 功率密度大。液压传动结构紧凑、尺寸小、质量小、惯性小。例如，相同功率等级的液压马达仅是同功率电动机质量的 12%~13%。

② 能方便地实现较大范围内的无级调速。通过调节阀的开口面积或变量泵、马达的排量，可以实现无级调速，调速范围可达 1:2 000。

③ 传递运动均匀平稳，负载变化时速度变化平稳。

④ 可方便地实现无间隙传动、频繁的往复与换向运动。

⑤ 空间布置灵活。由于液压传动是用油管连接各元件，所以改变油管的连接方式可以方便灵活地布置传动机构。

⑥ 容易实现系统的过载保护。通过设置溢流阀等方法限制的最高压力，可实现过载保护。

⑦ 液压传动容易实现自动化。借助各种控制调节阀，特别是结合电气控制，很容易实现复杂自动工作的循环和遥控。

⑧ 液压元件已实现标准化、通用化、系列化，同时便于制造、选用和灵活布置。

2. 缺点

① 由于存在机械摩擦、压力、泄漏等损失，其传动效率较低且不适宜进行远距离传动。

② 由于存在介质温度、负载变化敏感，因此难以保证运动速度稳定；而且液压系统也不宜在高、低温条件下工作。

③ 因漏油和介质的可压缩性，液压系统不能保证严格的传动比，不适于齿轮范成和螺纹加工的定比传动。

④ 系统出现故障时，不易检查和排除。

⑤ 为了防止漏油及满足性能上的要求，元件制造精度要求较高。

(三) 车辆液压传动系统的基本形式

车辆液压系统的基本形式主要有以下几种。

1. 开式系统和闭式系统

按油液循环方式的不同，液压系统可分为开式系统和闭式系统。

(1) 开式系统

如图 8-8-4 所示，开式系统结构较为简单。液

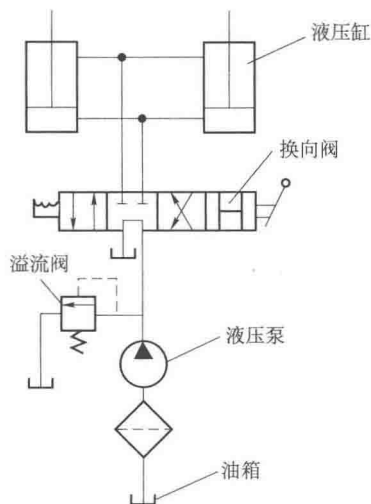


图 8-8-4 开式系统

压泵从油箱吸油，通过换向阀给液压缸（或液压马达）供油以驱动工作机构，液压缸回油再经换向阀流回油箱。因油液常与空气接触，易使空气渗入系统，造成工作机构运动的不平稳及其他不良后果。解决的措施是在系统的回油路中设置背压阀，但同时也会引起附加能量的损失。

开式系统通常采用的液压泵为定量泵或单向变量泵，考虑到泵的自吸能力和吸空现象，对自吸能力差的液压泵，通常将其工作转速限制在额定转速的 75% 以内，或增设一个辅助泵。工作机构的换向则借助于换向阀。换向阀换向时会产生液压冲击，此外，运动部件的节流损失将转变为热能而使油温增加。

(2) 闭式系统

闭式系统的系统原理图如图 8-8-5 所示。其中液压泵的进油管直接与执行元件的回油管相连，工作液体在系统的封闭管路循环。系统结构紧凑，与空气接触的机会较少，空气不易混入，传动平稳性较好。闭式系统中，工作机构的变速和换向通过调节泵或马达的变量机构实现，避免了液压冲击和能量损失。

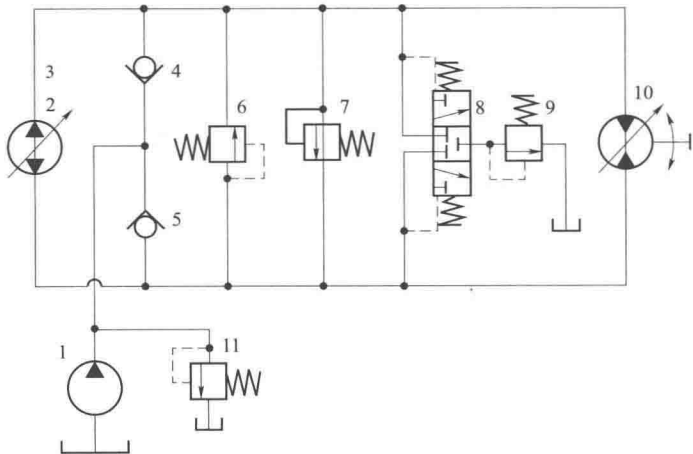


图 8-8-5 闭式系统

闭式系统本身没有油箱，油液的散热和过滤的条件较开式系统的差，并且通常需要一个容量的补油泵和油箱来补偿系统中的油液泄漏，因此这种系统实际上是一个半闭式系统。

闭式系统的执行元件一般为液压马达。如果执行元件采用双作用单活塞杆液压缸，液压缸大、小腔流量不等的问题会在工作过程中降低功率利用率。大型液压挖掘机、液压起重机中的回转系统，某些农用机械、森林机械的液压驱动系统，履带式车辆变速及转向系统中的执行元件，均为液压马达。

2. 调速系统

按调速方法的不同，液压传动调速可分为有级调速、无级调速及复合调速系统三大类。

采用液压传动的车辆，其液压传动系统可以在保持原动机的功率和转速不变的情况下，方便地实现大范围的调速。调速的方法是改变进入执行元件的流量或改变液压泵和液压马达的排量。

(1) 有级调速系统

一些功率较大又要求有很大调速范围的车辆常采用有级调速系统。

有级调速的方式有很多，下面是常用的几种：

- ① 用合流阀来改变系统的供油方式，采用单泵供油或双泵供油进行两级调速；
- ② 用顺序阀实现低压大流量泵与高压小流量泵合流供油的有级调速；
- ③ 用双速阀或二位四通电磁阀来改变内曲线马达作用柱塞数、有效作用次数、液压马达串并联，从而调节系统速度的有级调速。

(2) 无级调速系统

无论是用流量控制阀，还是采用改变液压泵或液压马达排量的方式，均能在一定范围内实现无级调速。无级调速一般有节流调速、容积调速及容积节流调速三种。

1) 节流调速

用改变节流阀或调速阀通流面积的办法改变执行机构运动速度的回路称为节流调速回路。

按节流阀或调速阀在液压系统中安装的位置不同，可将节流调速回路分为进油路节流调速回路、回油路节流调速回路和旁油路节流调速回路三种。

图 8-8-6 所示为进油路节流调速回路原理图。节流阀串联在进油路上，改变节流阀的开口面积，可改变液压缸活塞的运动速度。定量泵输出的多余油液通过溢流阀回油箱，溢流阀起稳压、溢流作用。

图 8-8-7 所示为回油路节流调速回路原理图。节流阀串联在回油路上，改变节流阀的开度，同样可改变液压缸右腔的回油速度。定量泵输出的多余油液也通过溢流阀回油箱，溢流阀同样起稳压、溢流作用。

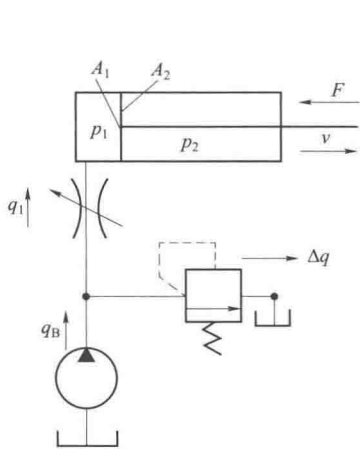


图 8-8-6 进油路节流调速回路

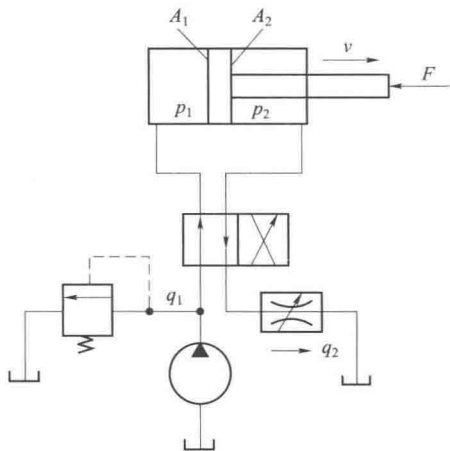


图 8-8-7 回油路节流调速回路

回油路节流调速回路的速度特性、负载特性和功率特性与进油路节流调速回路的各相应特性相同。

图 8-8-8 所示为旁路节流调速回路原理图。节流阀并联在旁路上，定量泵输出的压力油一路经节流阀回油箱，另一路经换向阀流入液压缸左腔，推动活塞右移。节流阀的开度越大，则进入液压缸的压力油越少，即活塞带动负载的运动速度越小；反之，则运动速度越大。

并联的溢流阀起安全保护作用，称为安全阀。

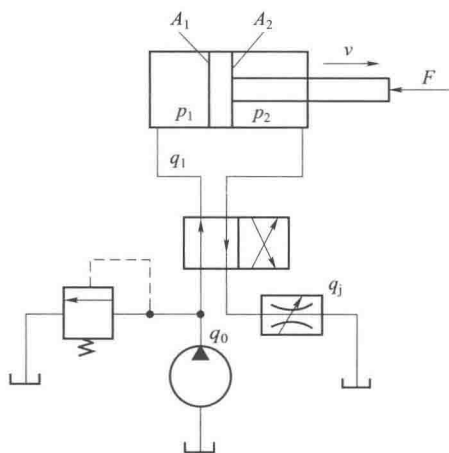


图 8-8-8 旁路节流调速回路

节流调速由于结构简单、使用维护方便、调速范围大（调速比可达 100 以上）、低速微动性能好，所以在特种车辆的作业系统中应用较多。

2) 容积调速

容积调速由于不存在节流或溢流的能量损失，因此系统发热少、效率高、能量利用合理，在大功率车辆的液压系统中获得更广泛应用。

容积调速回路是靠改变液压泵或液压马达的排量来进行调速的。按变量形式，容积调速回路又可分为变量泵-定量马达（或缸）、定量泵-变量马达和变量泵-变量马达调速回路三种形式。

① 变量泵-定量马达容积调速回路。

变量泵-定量马达容积调速回路如图 8-8-9 所示。改变变量泵的供油量就可直接调节定量马达的转速。在高压管路上装有安全阀，用以防止回路过载。在低压管路的支路上装有一台小流量的补油泵，向变量泵供油以补偿回路的泄漏，还可以改善变量泵的工作特性并进行散热。

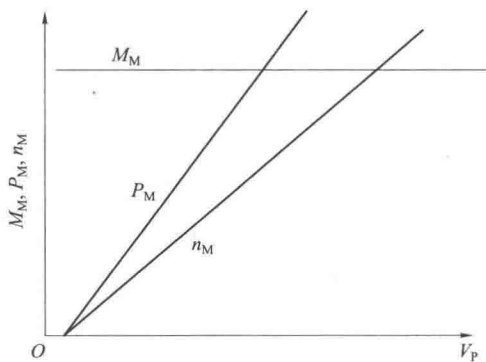
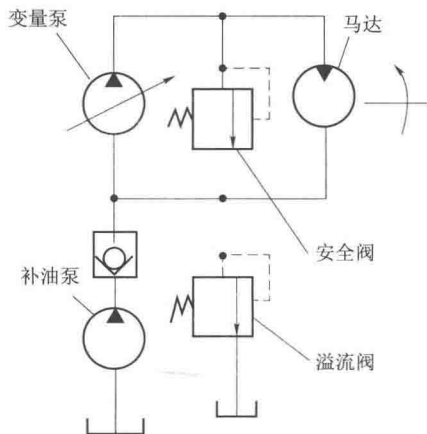


图 8-8-9 变量泵-定量马达容积调速回路

补油泵的工作压力由低压溢流阀调节。

由于回路中液压泵的转速 n_p 和液压马达的排量 V_M 是恒定的，所以液压马达转速 n_M 与变量泵排量 V_p 成正比。当负载扭矩恒定时，液压马达进、出口压差 Δp 不变，输出扭矩恒定，并且与液压泵的排量无关，故这种调速方式又称为恒扭矩调节。

这种回路的调速范围较大，一般可达 40 倍，也可以在正反向之间实现无级调速，效率高，发热小，适用于要求恒扭矩（或恒推力）场合。

② 定量泵-变量马达容积调速回路。

定量泵-变量马达容积调速回路如图 8-8-10 所示。

调速回路通过补油泵补油，低压溢流阀的压力调得较低（0.3~0.5 MPa），这样可以使

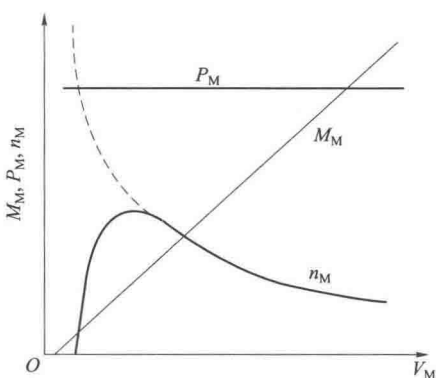
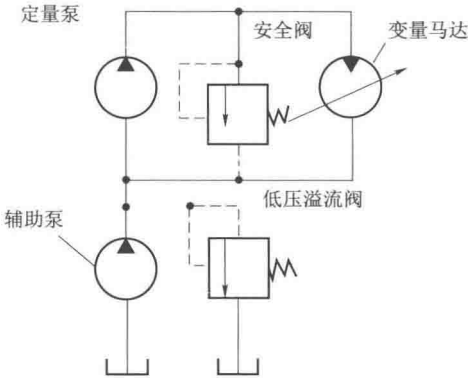


图 8-8-10 定量泵-变量马达容积调速回路

主泵的吸油腔保持一定压力，以改善主泵的吸入性能，这里溢流阀作为安全阀使用。

由于液压泵的流量 Q 不变，液压马达的排量 V_M 可调，所以液压马达输出转速 n_M 与排量 V_M 成反比。当回路的工作压力不变时，液压马达的输出扭矩随排量 V_M 的增加而增加。由于液压马达的输入流量一定，工作压力不变，所以输出功率不变，因此这种调速方式又称为恒功率调节。

液压马达的最低转速对应最大排量，最高转速对应最小排量，为保证输出扭矩 M_M 能够带动负载，排量 V_M 不能调得太小，因此这种调速回路调速范围较小，并且不能实现反向运动，所以很少单独使用。

③ 变量泵-变量马达容积调速回路。

图 8-8-11 所示为双向变量泵-变量马达容积调速回路原理图，回路中各元件是对称布置的，这种回路是前述两种调速回路的组合。变量泵可以正反向供油，变量马达可以正反向旋转，调节变量泵的排量或变量马达的排量都可以改变液压马达的转速。变量泵正向供油时，一管路是高压管路，另一管路是低压管路，压力油进入液压马达，使其正向旋转。补油泵供给的低压油经单向阀向低压管路供油，由于管路处于高压，因此其相邻单向阀关闭。

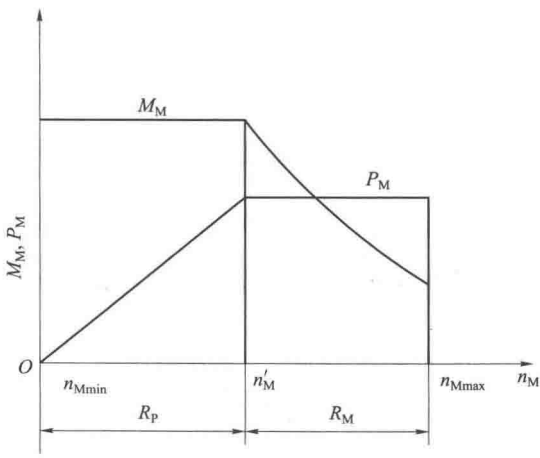
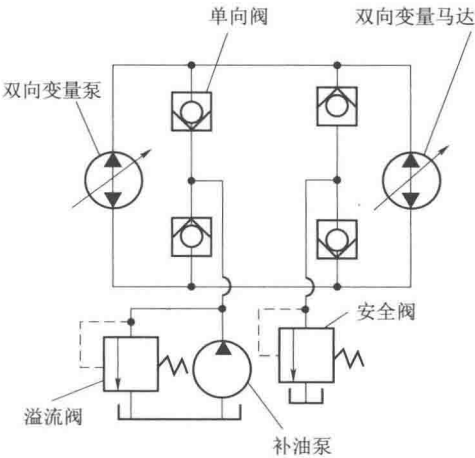


图 8-8-11 双向变量泵-变量马达容积调速回路

常用的调速方法是先将马达的排量放在最大位置，然后使液压泵的排量由零调到最大，这一阶段的调速方法与变量泵-定量马达调速回路相同。当泵的排量达到最大并且固定不动后，再由最大到最小调节马达的排量，这一阶段的调速方法与定量泵-变量马达调速回路的相同。这种调节回路有较大的调速范围，一般可达 100 倍左右。

3) 容积节流调速

由上可知，容积调速效率高、能量利用合理、不存在节流溢流能量损失，但因变量泵和变量马达均存在死区，所以低速调节困难，同时，速度会随负载增加而降低；节流调速回路结构简单、调速比大、调速方便，具有较好的微调性，但节流调速存在能量损失大、油温升高快的缺点。

用节流阀（手动换向阀）配合变量泵进行的容积节流调速具有效率高、调速方便、工作稳定等优点。

容积节流调速回路采用变量泵供油和节流阀或调速阀控制进入或流出液压缸（或液压马达）的流量，以实现工作速度的调节，并使泵的供油量与液压缸所需的流量相适应。

限压式变量泵和调速阀所组成的容积调速回路如图 8-8-12 所示。它由限压式变量泵、调速阀、背压阀和液压缸等组成。液压油经限压式变量泵供给调速阀，进入液压缸的右腔，左腔回路经背压阀流回油箱。调节调速阀的过流面积可控制进入液压缸的流量 Q_1 。若泵的供油量 $Q > Q_1$ ，则多余的流量增高泵的工作压力 p ，泵的供油量便自动减少，直至 $Q = Q_1$ ，此时泵供油压力为 p' 。

由于回路中采用了调速阀，因此液压缸的运动不受负载变化的影响，速度稳定性好于单纯的容积调速回路，并且没有溢流损耗、发热少、运动平衡性好。由于变量泵的结构复杂，该回路适用于负载变化不大的场合，目前已在组合机床液压系统中使用。

图 8-8-13 所示为另一种容积节流调速回路，主要由压差式变量泵和节流阀组成。变量泵输出的压力油经节流阀进入液压缸左腔，右腔回油经背压阀回到油箱。压差式变量泵的供油量是由节流阀前后的压差通过泵上两个控制缸来控制的。

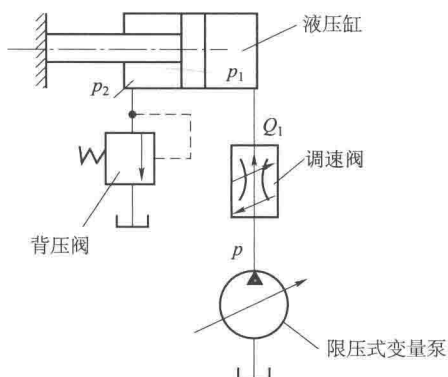


图 8-8-12 由限压式变量泵和调速阀组成的调速回路

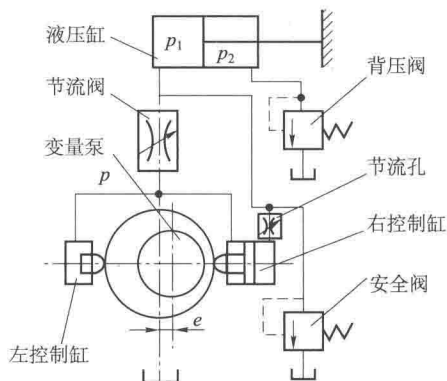


图 8-8-13 由压差式变量泵和节流阀组成的调速回路

调大节流阀过流面积时，由于泵流量瞬间未变而泵供油压力下降，因而破坏了泵定子的平衡条件，故定子向左移动，加大了偏心距 e ，增大了泵的流量；反之，会减少泵的流量。因此，调节节流过流面积可以实现速度调节。

(3) 复合调速系统

将有级调速、容积调速等组合在一起形成复合调速系统,从而获得工程上所需要的各种调速及性能要求。目前,复合调速系统已在许多大型车辆液压系统上得到应用。

二、装甲车辆中的液压传动

20 世纪 60 年代,瑞士与瑞典首先在坦克传动中采用了液压转向和液压复合转向,并获得了成功。70 年代后,许多坦克装甲履带式车辆都不同程度地采用了液压传动技术。例如:液压助力操纵装置、炮塔液压驱动系统、火炮稳定器的液压系统、液压无级转向、液压机械传动等。

本部分介绍坦克装甲车辆常用的几种典型液压系统。

(一) 液压无级转向

现代履带式车辆双流转向系统如图 8-8-14 所示,发动机功率先分后汇,两路传递一路是变速功率,一路是转向功率。转向功率支路由变量泵、定量马达组成,转向功率传到两侧的两个汇流行星排的太阳轮,与另一路传到齿圈的变速功率汇合,从行星架输出到两侧履带。因为两侧太阳轮转动方向相反,输出到两侧履带的转速大小不等,所以造成两侧履带的速差而使车辆转向。

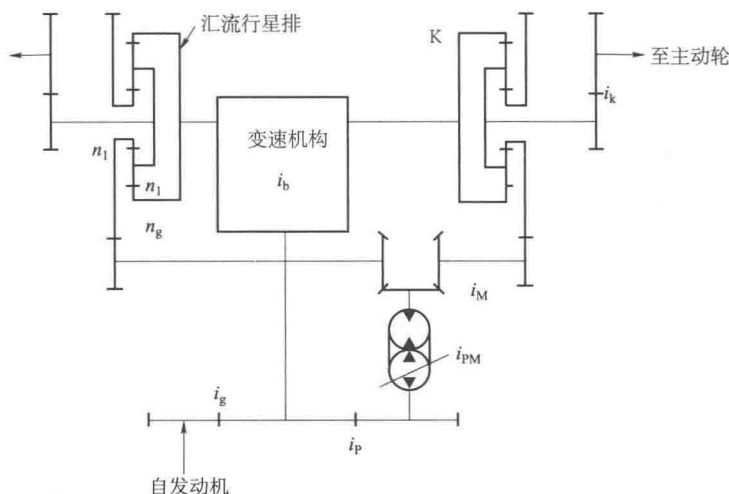


图 8-8-14 履带车辆双流转向系统

1. 转向液压系统的组成

履带式车辆的转向液压系统如图 8-8-15 所示,它采用双向变量泵和定量马达组成的容积式调速方式,通过调节液压泵的排量来改变液压马达的输出转速,以实现履带式车辆的双向无级转向。系统主要由变量柱塞泵、补油齿轮泵、定量柱塞马达、换向阀、单向阀、溢流阀、油箱、油管和滤油器等元件组成。

2. 转向液压系统的工作原理

改变变量泵的供油方向,就能控制液压马达正反转方向;控制变量泵的排量,就可以控制液压马达的转速。

当变量泵被带动而转动时,用手动液压伺服变量机构来控制变量泵的斜盘摆角为 0° ,变量泵

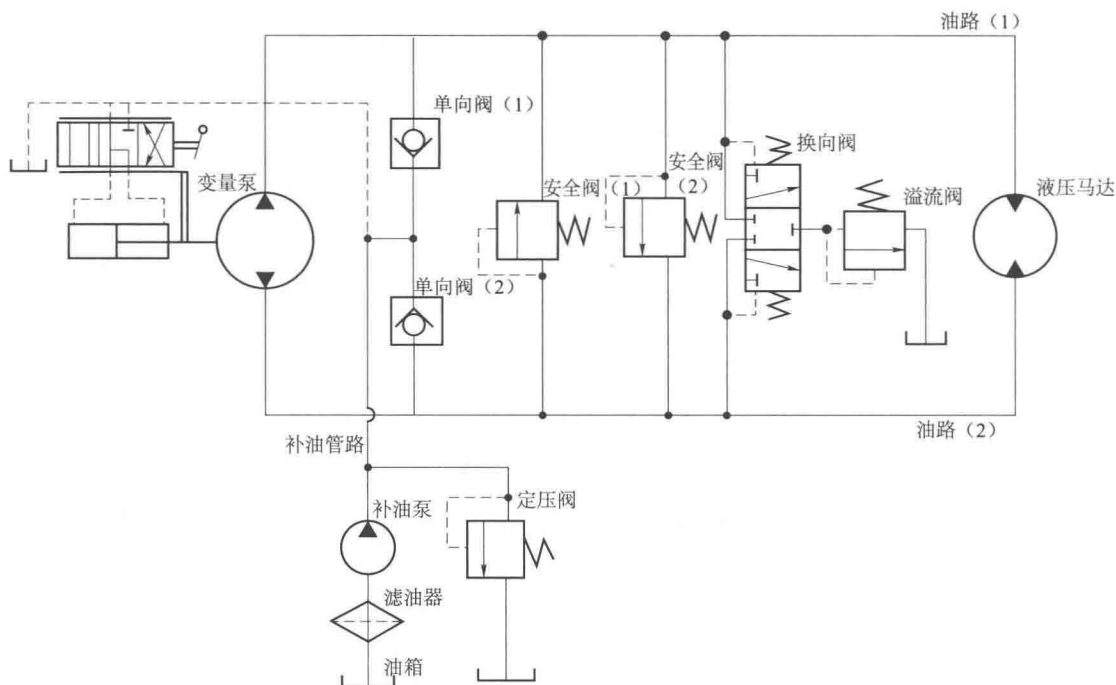


图 8-8-15 履带车辆转向液压系统

不输出压力油，马达没有输出，车辆处于直线行驶；如果变量泵的斜盘摆角不为 0° ，液压泵输出压力油，驱动马达转动。当变量泵正向供油时，上支主油路（1）是高压油路，下支主油路（1）是低压油路，马达正向旋转。马达回油口直接与变量泵的吸油口相通，形成闭式回路。

当高、低压主油路中的油的压差很小时，换向阀的阀芯处于中间位置，通向溢流阀的油路被关闭，补油泵补给系统多余的油从定压阀溢流回油箱。当高压主油路（1）和低压主油路（2）的压力差大于规定数值时，原来保持中位的换向阀在压差的作用下，将低压主油路（2）和溢流阀接通，低压主油路（2）中的热油从溢流阀排出，补油泵再向系统补偿冷油。

定压阀调定辅助泵的供油压力。为保证换向阀和溢流阀能把低压主油路中的热油放出，而且新的冷油又能进入低压主油路而不至于从定压阀流出，定压阀的调整压力需略大于溢流阀的调整压力。

当变量泵反向供油时，上支主油路（1）是低压主油路，下支主油路（2）是高压主油路。

安全阀（1）、（2）用于防止高压主油路过载。

（二）89 式装甲输送车传动液压系统

1. 液压系统的组成

89 式装甲输送车的传动系统主要由多片干摩擦式主离合器、定轴式变速箱、行星转向机等组成。

定轴式变速箱一档、倒挡采用滑动齿套换挡，二、三、四、五挡采用离合器换挡。

变速箱的换挡和转向操纵采用液压操纵方式，液压系统如图 8-8-16 所示。其功用主要有：

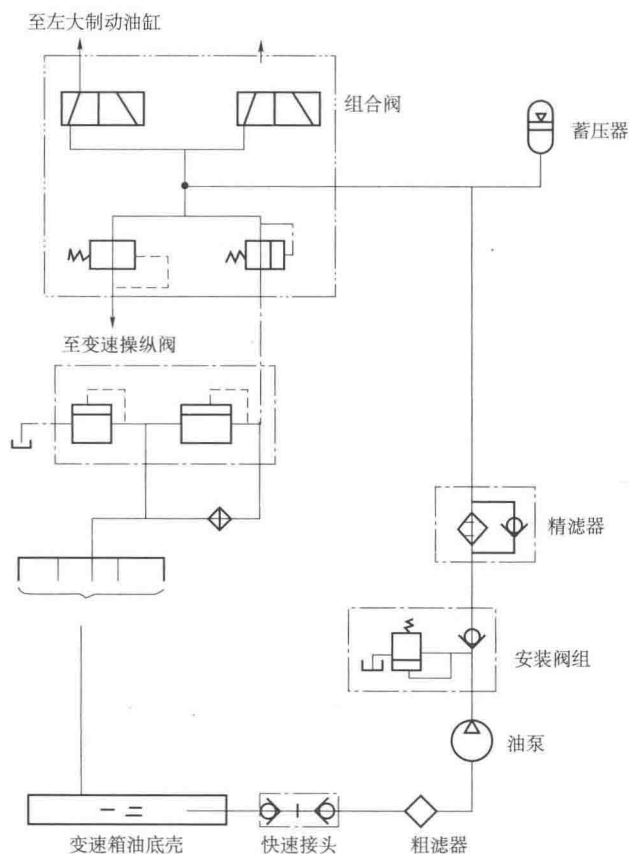


图 8-8-16 液压系统原理图

- ① 提供必要的能源和额定液压力值；
- ② 实现大制动液压转向和停车；
- ③ 实现二、三、四、五挡液压离合器换挡。

系统动力部分主要是由传动箱带动的外啮合齿轮泵，执行部分是大制动助力缸和变速阀总成，控制部分包括调压阀组、安全阀组、组合阀（溢流阀、减压阀）、电磁阀等。

（1）组合阀

组合阀由一个溢流阀和一个减压阀集成在统一的铝制阀体内（图 8-8-17）。溢流阀的调定压力为 (2.2 ± 0.1) MPa，即是左、右制动油缸工作压力，也是系统额定压力；减压阀则将系统压力降至 (1.4 ± 0.1) MPa，即变速操纵油压值。

溢流阀采用先导式溢流阀，主要由阀体、滑阀、弹簧、调节螺栓和锁紧螺母等组成。减压阀由阀体、阀套、阀芯、调压螺母、弹簧、调整螺钉和锁紧螺母等组成。

进入溢流阀的油形成系统油压，进入减压阀的油形成变速操纵油压。溢流阀通过管路（电磁阀）连通大制动油缸和调压阀组，减压阀则通过油管与变速阀相通。当操纵执行机构时，便可实现液压制动和换挡。

（2）安全阀组

安全阀组由一个安全阀和一个单向阀组成，并集成在一个阀体内（图 8-8-18）。安装阀组的两个阀门调定压力均为 5 MPa。在调定压力下，从进油口来的油顶开单向阀弹子，从

出油口去系统润滑。当系统发生堵塞并且压力高于 5 MPa 时，部分油液从安全阀溢出，直接返回油箱。当油压恢复后，又进入正常循环。

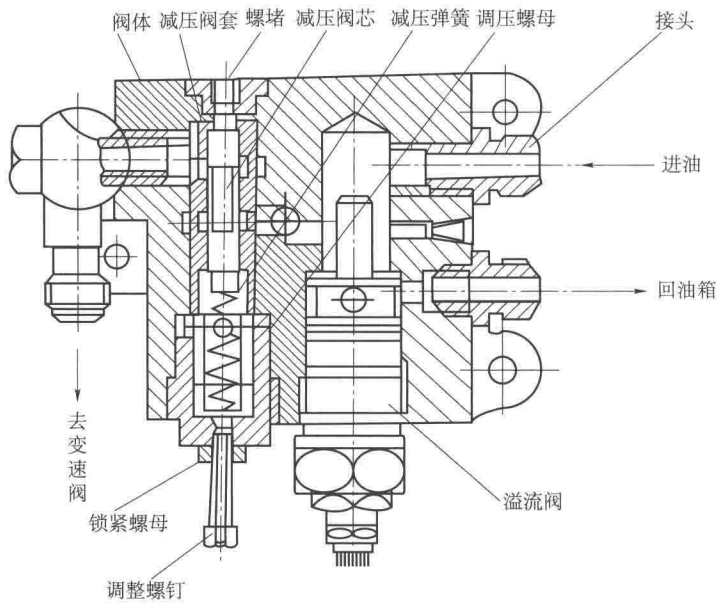


图 8-8-17 组合阀

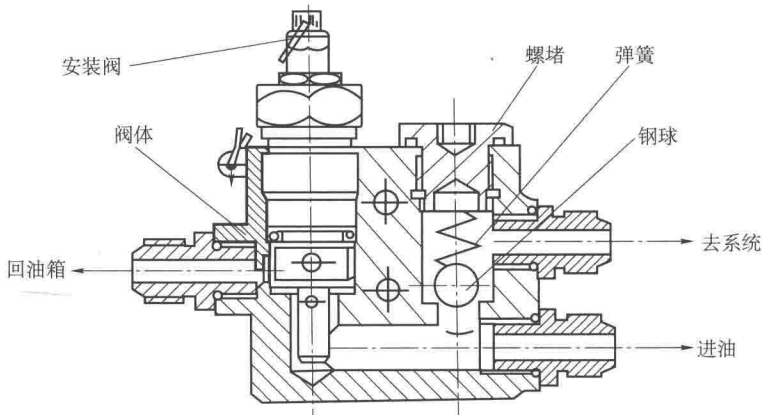


图 8-8-18 安全阀组

(3) 电磁阀

两个电磁阀均安装在组合阀的上端面上。电磁阀体内装有滑阀式换向阀芯，阀体端面装一电磁铁，磁铁上镀有电磁线圈，还有阀体、端盖、电线插座和故障按钮等（图 8-8-19）。

按下大制动操纵按钮后，电磁阀通过 24 V 直流电，电磁铁吸引阀芯在阀体内移动，遂行关闭或打开不同的油口，使制动时液压油经组合阀通往大制动油缸。回油时，液压油则经组合阀回到变速箱。

(4) 调压阀组

调压阀组包含集成在一起的两个简单式钢球（弹簧）压力阀（图 8-8-20）。

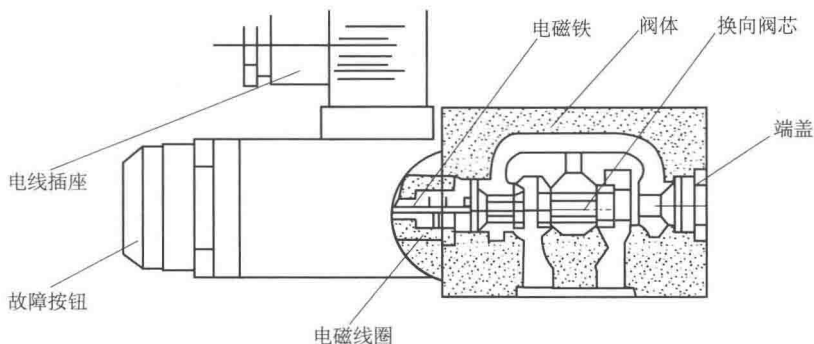


图 8-8-19 电磁阀

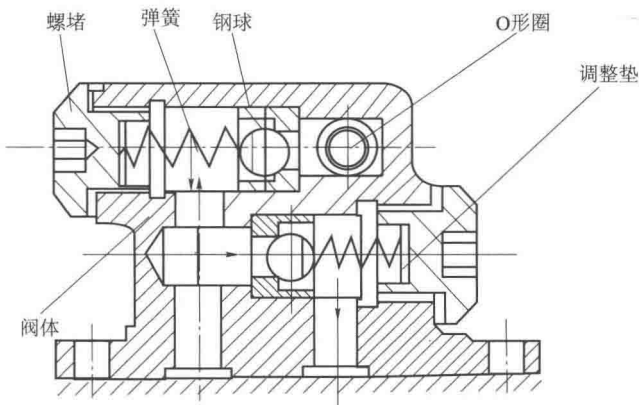


图 8-8-20 调压阀组

位于阀组上部的压力阀为散热器进口压力调节阀，下部压力阀为散热器回油压力控制阀。当散热器进油压力超过 0.3 MPa，钢球 A 被打开，部分油即进入阀组下部压力阀。下部压力阀调定压力为 0.2~0.25 MPa，在调定压力下，经散热器冷却后的油从此阀进入变速箱润滑油路；当超过调定压力后，钢球被推开，油液直接回变速箱，而不去润滑油路。

(5) 蓄压器

蓄压器为隔膜式蓄压器，由壳体、充气阀门、橡胶隔膜和接头组成（图 8-8-21）。耐油的橡胶隔膜把壳体分隔成空气室和油液室两个空间。隔膜上方的空气室由充气阀门处充注 1.2 MPa 的工业氦气。隔膜下方的油液室内，则储存不到 2 L 的液压油。充气的作用是保持系统的油压平稳，同时能储存一部分压力油，在油泵出现故障时，这部分油可作为油泵应急使用。

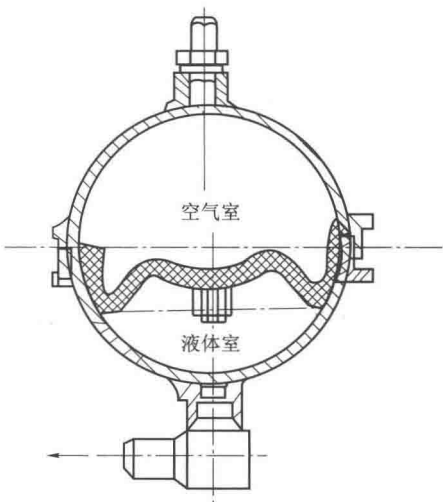


图 8-8-21 蓄压器

2. 工作原理

发动机启动后，液压油由变速箱油底壳被泵出，先后经粗滤器、油泵、安装阀组、精滤器、组合阀、调压阀组、散热器，最后来到变速箱润滑油路。

当拉动操纵杆至最大行程位置并按下操纵杆上的按钮时，电磁阀电路被接通，油液经过组合阀进入大制动油缸，此时车辆以最小半径转向或停车。

变速阀杆在原始位置时（图 8-8-22），阀杆前、中凸肩处于中间位置，使变速箱保持在空挡位置。以三挡为例说明换挡过程。挂三挡时，阀杆向前移动，将三挡进油道打开，进油腔与三挡进油道相通，减速阀过来的液压油从进油口经进油腔、三挡进油道等进入换挡离合器，此时摩擦片结合，变速箱挂上三挡（图 8-8-23）。

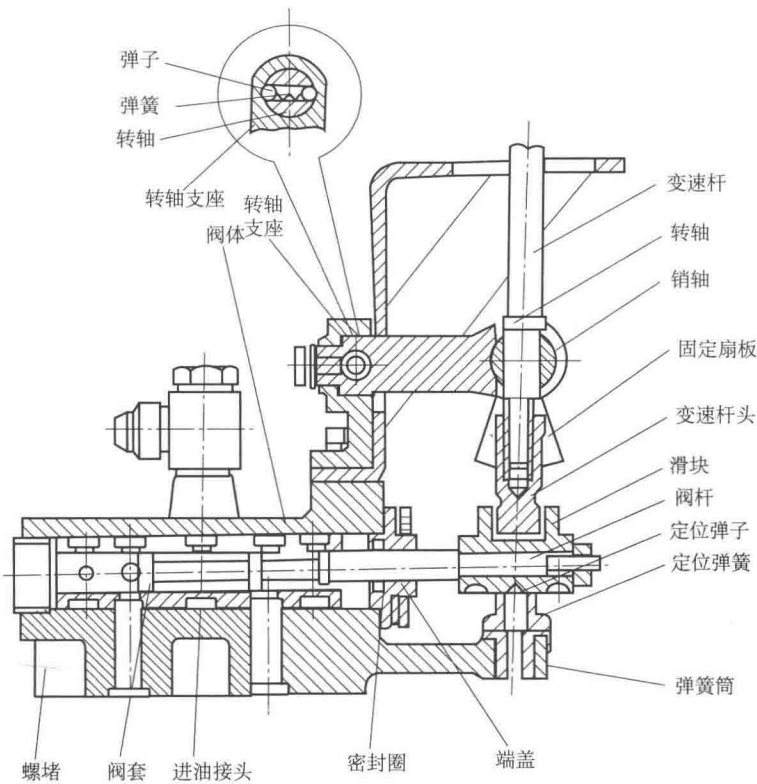


图 8-8-22 变速阀总成

退挡时，阀杆向后移动，将进油腔与三挡进油道的油路切断，使三挡进油道与回油腔相通，液压油经三挡回油腔、三挡回油道和上箱体的三挡回油孔回到变速箱内。

当油泵因故障断油时，蓄压器的油则通过组合阀供系统应急使用。

（三）液压机械连续无级传动

液压容积调速系统是较好的无级传动，在各种机械领域取得了广泛的应用。地面车辆的传动系统除了较多地应用于本节所述的履带式车辆传动的转向机构外，也被研究用于履带式和轮式车辆的变速驱动。液压容积调速和行星机构相配合，取得了很好的进展。

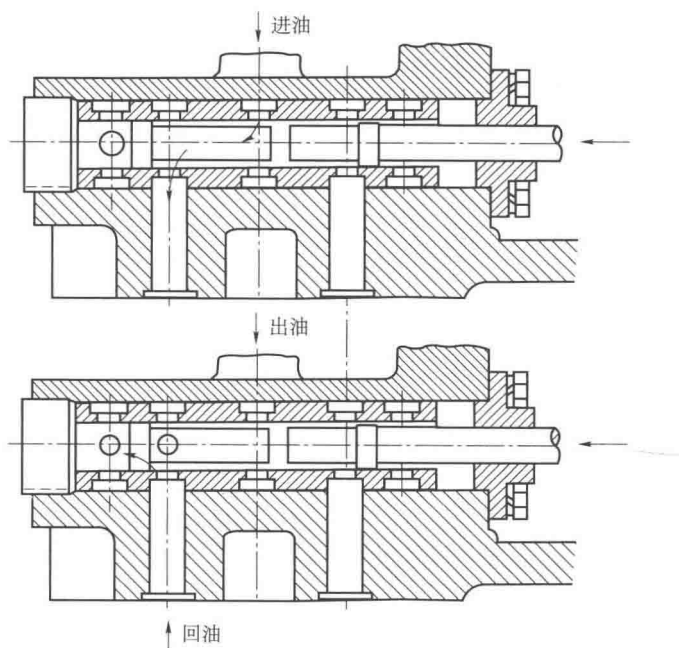


图 8-8-23 变速阀工作

1. 传动原理

假设有传动系统简图如图 8-8-24 所示。传动系统由泵 P、马达 M、行星排、前传动（传动比为 i_1 ）、后传动（传动比为 i_2 ）和闭锁离合器 L_1 、 L_2 组成。

① 闭锁离合器 L_2 接合、 L_1 不工作，行星排整体回转，整个传动系统为单功率流、纯液压工况。当马达随 ε 由 $-1 \sim 0 \sim 1$ 变化（ n_M 由 $-n_{MAX} \sim 0 \sim n_{MAX}$ ）时，输入轴转速 n_i 、马达转速 n_M 和输出转速 n_o 的关系曲线如图 8-8-25（a）所示， n_o 与 n_M 成正比无级变化。

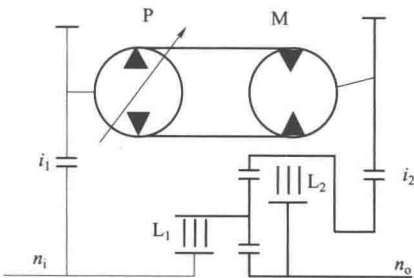


图 8-8-24 液压机械连续无级传动原理简图

② 闭锁离合器 L_1 接合， L_2 不工作，输入功率经液压分路和机械分路两路分别到达汇流行星排的齿圈和行星架，经汇流后由太阳轮输出。 n_o 与 n_M 反比无级变化。当马达随 ε 由 $1 \sim 0 \sim -1$ 变化（ n_M 由 $n_{MAX} \sim 0 \sim -n_{MAX}$ ）时，齿圈（液压路）的转速 n_q 也由正值经零向负值方向变化。

简单内外啮合单星排有如下速度关系：

$$n_i + k n_q - (1 + k) n_j = 0$$

行星架转速 n_j （机械路输入轴转速 n_i ）一定时，两路汇流合成的太阳轮转速 n_t （ n_o ）却随 n_M 的减小而越来越大（ n_t 的方向未变），即 n_t 和 n_M 呈反比关系。

③ 假设液压泵和马达的排量相等，即 $V_P = V_M$ ，并略去容积效率 η_V 对转速的影响，在图 8-8-25（a）所示工况末尾时， $\varepsilon = 1$ ，输出转速为

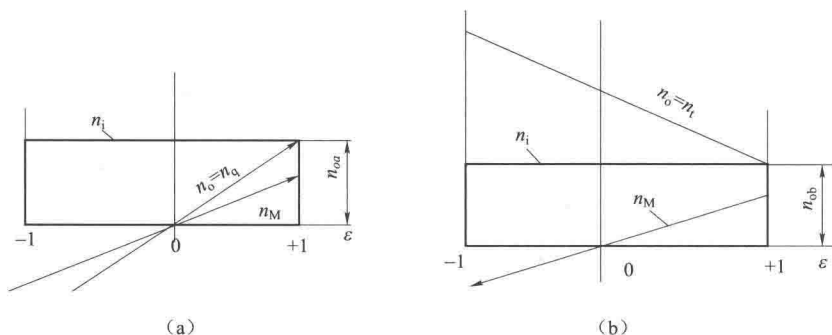


图 8-8-25 用汇流排改变 n_M 与 n_o 之间的关系

(a) 输出速度与马达速度成正比；(b) 输出速度与马达速度成反比

$$n_{oa} = \frac{n_i \varepsilon V_P \eta_V}{i_1 i_2 V_M} = \frac{n_i}{i_1 i_2}$$

在图 8-8-27 (b) 所示工况末尾时, $\varepsilon = 1$, 由行星排速度方程式可得

$$n_{ob} = n_i = (1+k) n_j - k n_q$$

又知 $n_j = n_i$

$$n_q = \frac{n_i}{i_1 i_2}$$
$$n_o = n_i = \left[(1+k) - \frac{k}{i_1 i_2} \right] n_i$$

令 $n_{oa} = n_{ob}$, 有

$$\frac{1}{i_1 i_2} = (1+k) - \frac{k}{i_1 i_2}$$

即有

$$i_1 i_2 = 1$$

该式表明, 只要两固定齿轮的传动比互为倒数, 就能保证图 8-8-25 (a)、(b) 所示两种工况的输出转速平稳地衔接 (转换)。这就是液压机械连续无级传动的工作原理。

2. 汽车直驱液压机械传动系统

美国 Sundstrand 公司利用上述液压机械连续无级传动原理, 在 20 世纪 70 年代研制和生产了重型汽车用的 DMT-15、DMT-25 系列变速箱, 其功率分别为 110 kW 和 184 kW, 其传动简图如图 8-8-26 所示。

① 当离合器 L_1 接合、 L_2 分离时, 行星排三元件整体回转, 功率经前传动 ($i_q = 1.11$)、液压元件、整体行星排及后传动 ($i_c = 2.143$) 输出。这是传动系统的第一个工作阶段, 为单功率流纯液压传动。

② 第一工作阶段结束后进入第二阶段。此时, 分离离合器 L_1 、接合离合器 L_2 , 功率分两路传递: 一路为机械路, 经 L_2 由行星架进入行星排; 另一路为液压路, 由齿圈进入行星排。两路功率在行星排汇流后由太阳轮、经后传动输出。第二工作阶段属于马达反向增速液压机械工况。

DMT-25 变速箱的输出速度如图 8-8-27 所示, 结构如图 8-8-28 所示。

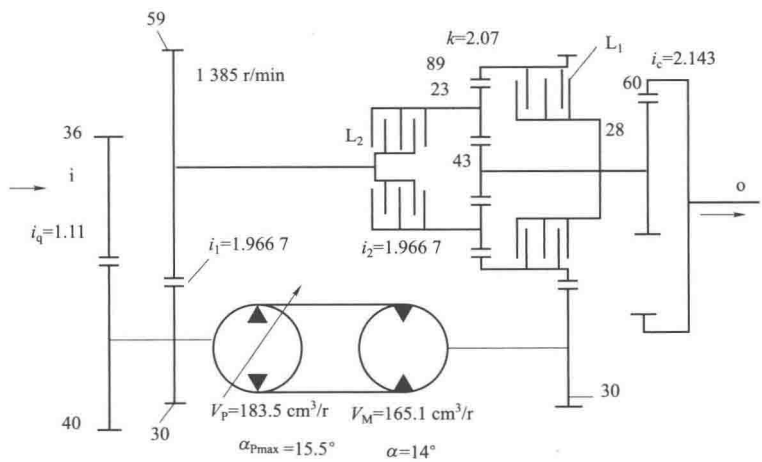


图 8-8-26 DMT-25 变速器传动简图

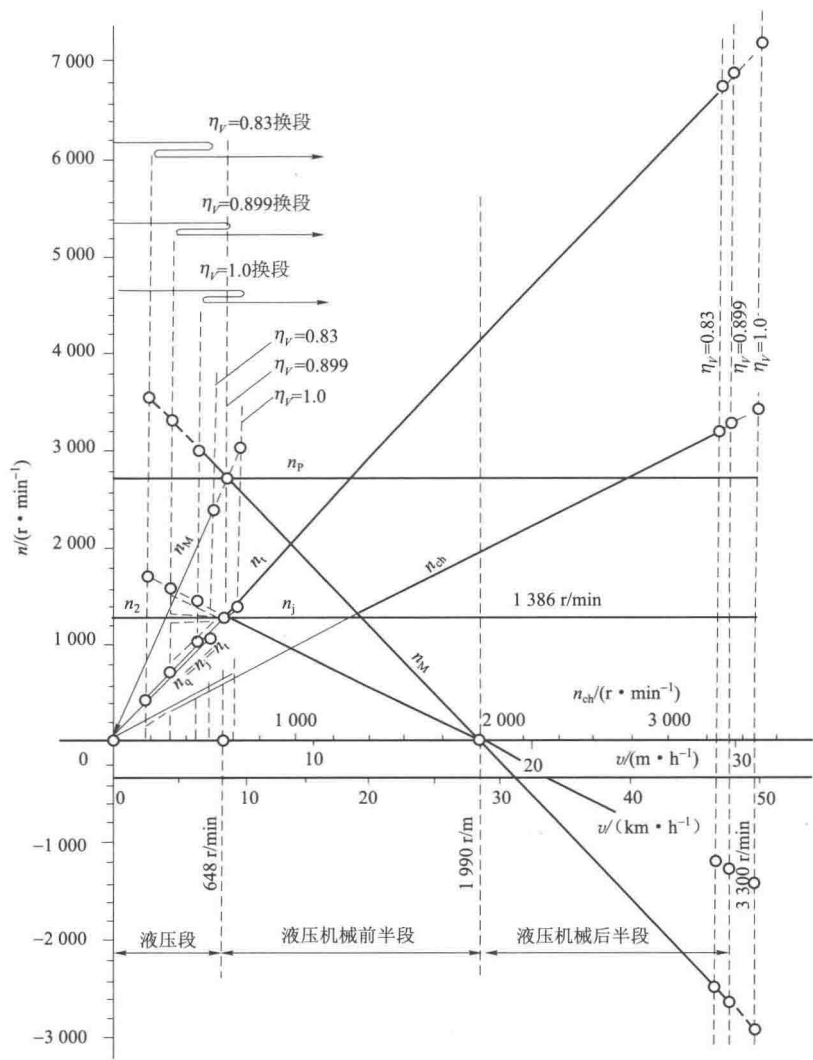


图 8-8-27 DMT-25 变速箱输出速度图

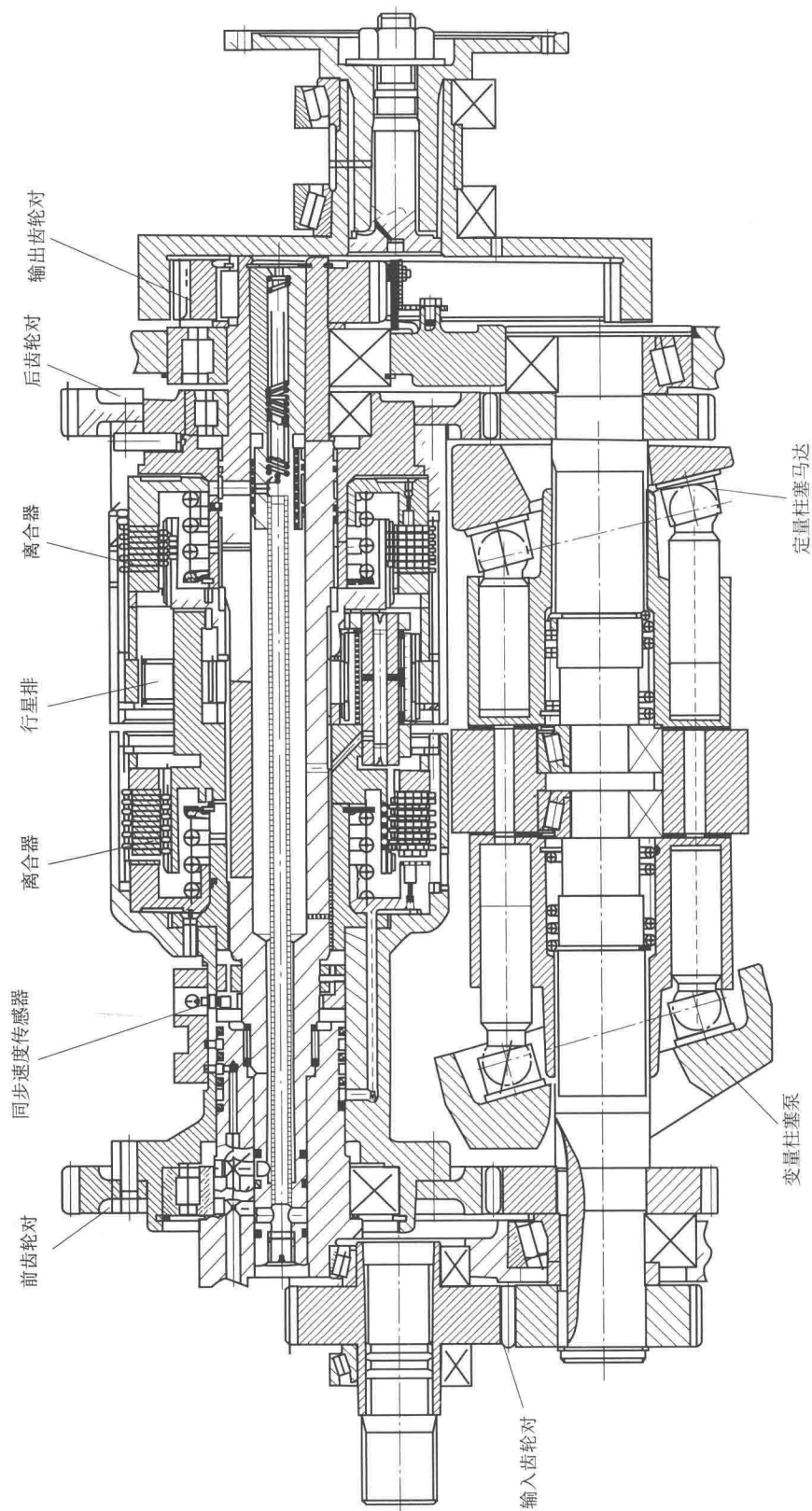
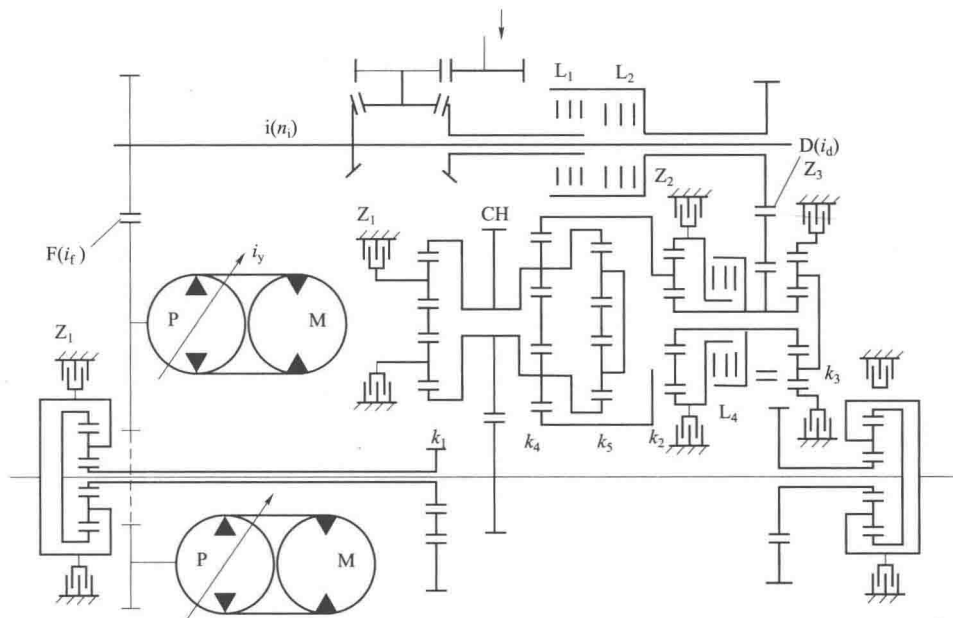


图 8-8-28 DMT-25 变速箱构造

DMT-25 变速箱加上了两个离合器 L_1 、 L_2 ，这使它具有纯液压和液压机械两种工况，而且这两种工况可以相互衔接连续无级输出。这样既扩大了输出速度范围，又扩大了功率输出范围。

3. 某坦克液压机械传动系统

美国阿里森公司为 MBT-70 坦克研制了一种 XHM-1500-2 传动系统，其简图如图 8-8-29 所示，转向机构采用纯液压转向，变速机构采用液压机械连续无级传动。



$$n_o = \left[\frac{k_4}{(1+k_2)(1+k_4)i_d} + \frac{1}{(1+k_4)i_f i_y} \right] n_i$$

第二阶段为正向液压机械工况。

(3) 第三阶段

将离合器 L_2 结合、制动器 Z_3 制动, k_3 、 k_5 行星排工作。功率分两路传递: 一路由横轴经齿轮对 $D(i_d)$ 、 k_3 行星排的太阳轮和行星架到 k_5 行星排的行星架; 另一路由横轴经齿轮对 $F(i_f)$ 、液压元件到 k_5 行星排的太阳轮。两路功率在 k_5 行星排汇流后, 由其齿圈输出。这一阶段的分析方法同第二阶段, 得到输出齿轮 CH 的速度为

$$n_o = \left[\frac{1+k_5}{(1+k_3)k_5 i_d} - \frac{1}{i_f i_y k_5} \right] n_i$$

第三工作阶段为反向液机工况。

(4) 第四阶段

接合离合器 L_2 、 L_3 , k_2 、 k_4 行星排工作。功率分两路传递: 一路由横轴 i 、经齿轮对 $D(i_d)$ 、 k_2 行星排太阳轮、行星架到 k_4 行星排的齿圈; 另一路由横轴 i 、经齿轮对 $F(i_f)$ 、液压元件到 k_4 行星排太阳轮; 两路功率在 k_4 行星排汇流后, 由其行星架输出。同理, 按上述分析方法, 输出速度为

$$n_o = \left[\frac{k_4}{(1+k_4)i_d} + \frac{1}{(1+k_4)i_f i_y} \right] n_i$$

第四工作阶段为正向液机工况。

XHM-1500-2 变速机构输出齿轮转速 n_o 和泵的相对变量率 ε 的关系曲线如图 8-8-30 所示。

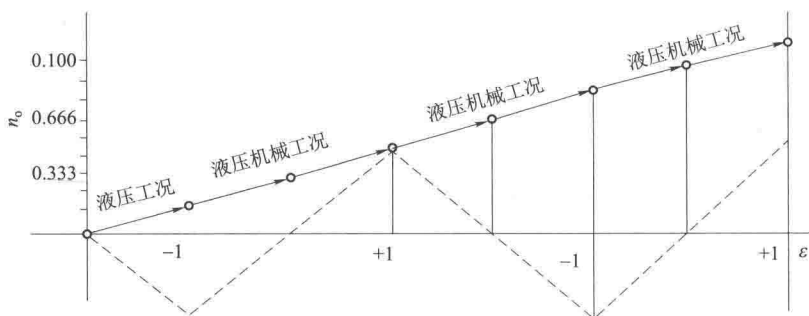


图 8-8-30 XHM-1500-2 传动变速机构输出速度图

4. 液压机械连续无级综合传动

美国通用电气公司在 20 世纪 70 年代和 80 年代研制成了 HMPT-500 传动系统, 并正式装备于 M2 步兵战车和 M3 战车上。该液压机械连续无级传动综合变速兼转向于一体, 其传动简图如图 8-8-31 所示。

(1) 结构组成

该传动装置由一对输入锥齿轮 ZH (传动比 i_{zh})、横轴制动器 Z_1 、二挡制动器 Z_2 和二挡减速行星排 k_1 、二挡汇流行星排 k_2 、三挡离合器 L_3 、一个差速行星排 k_d 和两个汇流行星排、两套球形活塞液压泵和液压马达 (传动比 i_y)、两个脚踏制动器、液压泵输入齿

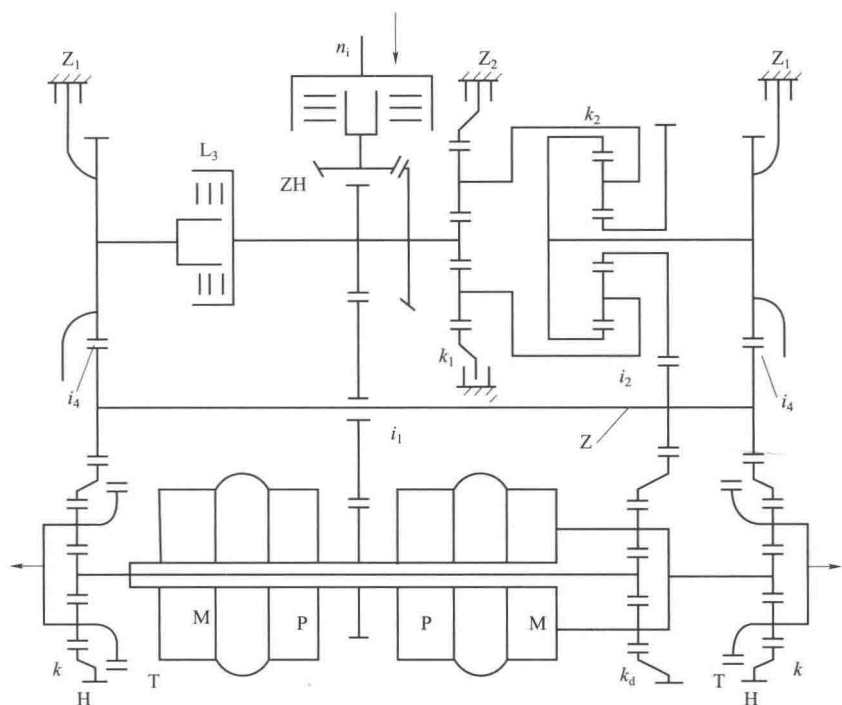


图 8-8-31 HMPT-500 液压机械连续无级综合传动简图

轮对（传动比 i_1 ）、平均差速输入齿轮对（传动比 i_2 ）、两侧机械流齿轮对（传动比 i_4 ）等组成。

美国通用电气公司早在 1960 年就开始研制适用于车用的球形活塞泵和马达。液压泵有一个从动的带有 9 个径向球形活塞的液压缸体，液压缸体支撑在有进、出口的固定轴上，并装在可活动的液压泵座圈内。座圈相对缸体的偏心度决定了液压泵的排量，座圈相对缸体的偏心度大，排量就大，因此该液压泵属于变排量泵。液压缸体中有 9 个油缸，每个油缸中装有精制的钢球活塞。径向球形活塞马达的座圈数是固定的，其他结构与液压泵的相同。此种球形活塞液压泵的特点是结构简单，没有柱塞泵那样的斜盘和滑履，便于制造和装配；靠离心力来保证球形活塞与座圈的可靠性接触，与装配压力、弹簧或其他零件无关；运动件少，便于保养，并无论如何布置均可高速旋转；对液压油污染的敏感性低；液压平衡好，主轴颈的轴承只承受很小的径向力。

(2) 直驶运动分析

直驶时两侧的液压机组工况相同，两侧输出汇流行星排的输出转速分析如下：

1) 前进一挡和倒挡

制动器 Z_1 制动。动力经输入离合器 L 、锥齿轮对 ZH 、液压泵输入齿轮对（传动比 i_1 ）、液压泵、马达平均差速行星排（ k_d ，该排直驶时整体回转）到两侧汇流行星排的太阳轮。动力输入轴的转速为 n_i ，其转速 n_j 为

$$n_j = \frac{n_i}{1+k} = \frac{n_i}{(1+k)i_{zh}i_1i_y}$$

这是第一阶段,该阶段为纯液压工况,当 i_y 为 ∞ 时,输出速度为零;当 i_y 为负值时,即 n_M 为负值时,输出速度为负,即倒挡。

2) 前进二挡

制动器 Z_2 制动。动力经两路传递,其中一路为机械路,功率经 k_1 行星排、 k_2 行星排、中间轴 Z 、两侧齿轮 i_4 到两侧汇流排的齿圈,因此,有

$$n_{t1} + k_1 n_{q1} - (1 + k_1) n_{j1} = 0$$

$$n_{t2} + k_2 n_{q2} - (1 + k_2) n_{j2} = 0$$

$$n_{q1} = 0, n_{t1} = \frac{n_i}{i_{zh}}, n_{j1} = n_{j2}$$

另一路为液压路,经液压元件到 k_d 行星排;在 k_d 行星排又分为两条支路,一条经 k_d 行星排的行星架到左边汇流行星排的太阳轮;另一条经 k_d 行星排的齿圈到 k_2 行星排的太阳轮。由于 k_d 整体回转,该行星排三元件转速 n_{td} 、 n_{qd} 、 n_{jd} 和左 (z)、右 (y) 两侧马达转速 n_{Mz} 、 n_{My} 以及两侧汇流排太阳轮转速 n_t 间有如下的关系:

$$n_{td} = n_{qd} = n_{jd} = n_{Mz} = n_{My} = n_t = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_y}, n_{t2} = n_{qd} i_2$$

通过以上各式得

$$n_{q2} = \frac{1}{k_2} \left[\frac{(1+k_2)n_i}{(1+k_1)i_{zh}} - \frac{n_i i_2}{i_{zh} i_1 i_y} \right] = \left[\frac{1+k_2}{(1+k_1)i_{zh} k_2} - \frac{i_2}{i_{zh} i_1 i_y k_2} \right] n_i$$

k_2 行星排和汇流排两齿圈转速关系为

$$\frac{n_{q2}}{n_q} = i_4$$

两路功率在两侧汇流排汇流后,由行星架输出,其转速为

$$\begin{aligned} n_j &= \frac{1}{1+k} \left(\frac{1}{i_{zh} i_1 i_y} \right) + \left[\frac{(1+k_2)k}{(1+k_1)i_{zh} k_2 i_4} - \frac{i_2 k}{i_{zh} i_1 i_y k_2 i_4} \right] n_i \\ &= \frac{1}{1+k} \left[\frac{(1+k_2)k}{(1+k_1)i_{zh} i_2 i_4} - \left(\frac{i_2 k}{i_4 k_2} - 1 \right) \frac{1}{i_{zh} i_1 i_y} \right] n_i \end{aligned}$$

该式第一项为机械路的速度,为常量;第二项为液压路的速度,为变量,并且随 i_y 的变化而变化。由该传动的已知数据 ($i_2 k / (i_4 k_2) = 2.707$) 可知,第二项为负值。

当控制左、右液压泵的泵油量为零,左、右液压马达轴停转,为纯机械传动;否则,为液机工况。

第二工作阶段可以是纯机械传动,也可以工作在液机工况。

3) 三挡

将离合器 L_3 接合。功率分两路传递,其中一路为液压路,和第一工作阶段工况一样:动力经输入离合器 L 、锥齿轮对 ZH 、液压泵输入齿轮对 (传动比 i_1)、液压泵、马达平均差速行星排 (k_d , 该行星排直驶时整体回转) 到两侧汇流行星排的太阳轮。动力输入轴的转速为 n_i , 其转速 n_j 为

$$n_j = \frac{n_l}{1+k} = \frac{n_i}{(1+k)i_{zh}i_l i_y}$$

另一路为机械路，功率经锥齿轮对 ZH、中间轴 Z、两侧齿轮对 i_4 到两侧汇流排的齿圈。

$$n_q = \frac{n_i}{i_{zh}i_4}$$

两路功率在两侧汇流排 k 汇流后，由行星架输出，其转速为

$$n_j = \frac{1}{1+k} \left(\frac{k}{i_{zh}i_4} + \frac{1}{i_{zh}i_l i_y} \right) n_i$$

该式第一项为机械路的速度，为常量；第二项为液压路速度，和第一工作阶段一样，随 i_y 的变化而变化。当控制左、右液压泵的泵油量为零时，左、右液压马达轴停转，为纯机械传动。

第三阶段可以是纯机械传动，也可以工作在液机工况。

HMPT-500 传动直驶时输出速度如图 8-8-32 所示。

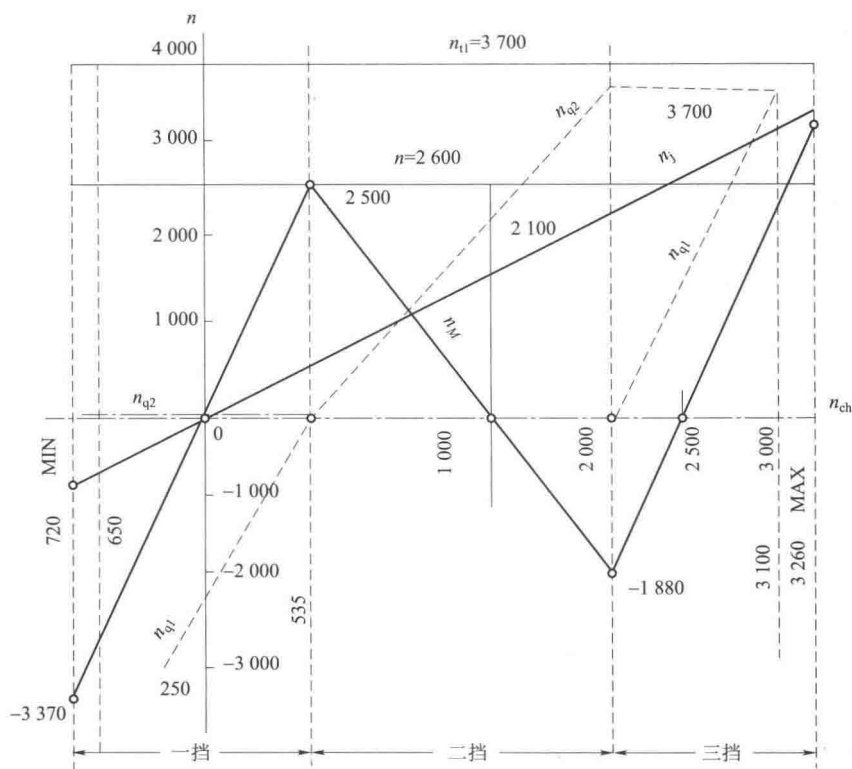


图 8-8-32 HMPT-500 传动直驶时输出速度

(3) 转向运动分析

假设车辆向左边转向，则左侧 (z) 为低速侧，右侧 (y) 为高速侧，两侧的液压机组工况不同。在不同工作阶段时，两侧输出汇流排行星架的输出转速分析如下：

1) 一挡及倒挡

制动器 Z_1 制动和直驶时相同, 但两个液压机组工况和直驶时的不同。低速侧液压机组传动比为 i_{yz} , 马达转速为 n_{Mz} ; 高速侧液压机组传动比为 i_{yy} , 马达转速为 n_{My} , 两侧汇流排行星架输出转速为

$$\text{低速侧: } n_{jz} = \frac{n_{Mz}}{1+k} = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yz} (1+k)}$$

$$\text{高速侧: } n_{jy} = \frac{n_{My}}{1+k} = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yy} (1+k)}$$

从上述公式可以看出, 控制不同的马达转速就可以实现转向。比如向左转向行驶, 通过控制使右液压泵比左液压泵的泵油量多来实现; 连续控制泵油量, 左、右液压马达输出轴就形成连续的速度差, 转向半径就连续变化, 即可实现无级转向。

转向时, 左输出功率减少部分成为右输出功率增加部分, 这样, 车辆几何中心的速度不论在直线行驶还是转向, 都是相同的, 车辆转向轨迹是圆滑的曲线。转向时, 功率可再生, 内侧履带从地面接收的再生功率会通过传动系统传给外侧履带。

当控制左、右液压泵的泵油量相等时, 高、低压油口相反, 则左、右液压马达输出的方向相反, 转速相同, 车辆就实现中心转向。

2) 二挡

制动器 Z_2 制动, 功率分两路传递: 第一路为液压路, 功率传递路线和直驶时的一样。但有两点和直驶不同: 一是两侧的液压机组工况不同; 二是 k_d 行星排工况不同, k_d 行星排不再整体回转了。左、右两侧马达转速 n_{Mz} 、 n_{My} , 两侧太阳轮的转速 n_{tz} 、 n_{ty} 和输入转速 n_i 间有如下关系:

$$n_{Mz} = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yz}} = n_{tz}$$

$$n_{My} = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yy}} = n_{ty}$$

平均差速排 k_d 是双星内外啮合的同向行星机构, 其速度关系式为

$$n_{td} - k_d n_{qd} - (1 - k_d) n_{jd} = 0$$

已知 $n_{td} = n_{My}$, $n_{jd} = n_{Mz}$, $k_d = 2$

$$n_{qd} = \frac{n_{My} - (1 - k_d) n_{Mz}}{k_d}$$

第二路为机械路, 其功率传递的路线和直驶时的相同。

$$n_{q2} = \frac{1}{k_2} \left\{ \frac{(1+k_2) n_i}{(1+k_1) i_{zh}} - \frac{[n_{My} - (1-k_d) n_{Mz}] i_2}{k_d} \right\}$$

两路功率最后在两侧汇流行星排汇流后输出, 行星架输出转速为:

低速侧:

$$\begin{aligned} n_{jz} &= \frac{n_{tz} + k n_{q2}}{1+k} = \frac{1}{1+k} \left(\frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yz}} + \frac{k n_{q2}}{i_4} \right) \\ &= \frac{1}{1+k} \left\{ \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yz}} + \frac{k}{i_4 k_2} \left[\frac{(1+k_2) n_i}{(1+k_1) i_{zh}} - \frac{[n_{My} - (1-k_d) n_{Mz}] i_2}{k_d} \right] \right\} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{1+k} \left[\frac{1}{i_{zh} i_1 i_{yz}} + \frac{k(1+k_2)}{(1+k_1) i_4 k_2 i_{zh}} - \frac{k i_2}{k_d i_4 k_2} \left(\frac{1}{i_{yy}} - \frac{1-k_d}{i_{yz}} \right) \right] n_i$$

同理, 高速侧:

$$n_{jy} = \frac{1}{1+k} \left[\frac{1}{i_{zh} i_1 i_{yy}} + \frac{k(1+k_2)}{(1+k_1) i_4 k_2 i_{zh}} - \frac{k i_2}{k_d i_4 k_2} \left(\frac{1}{i_{yy}} - \frac{1-k_d}{i_{yz}} \right) \right] n_i$$

控制左、右液压泵的泵油量, 使右侧的大于左侧的, 右液压马达的转速大于左侧的, 左输出轴的减速部分成为右输出轴的增速部分。连续控制左、右液压泵的泵油量, 就连续控制了两侧的速度差, 可使转向半径从最小值到最大值连续变化, 从而实现无级转向。

第二阶段为反向液机工况。

3) 三挡

离合器 L_3 结合。功率分两路传递: 第一路和二挡时一样, 为液压路。

$$n_{Mz} = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yz}} = n_{tz}$$

$$n_{My} = \frac{n_i}{i_{zh} i_1 i_{yy}} = n_{ty}$$

第二路为机械路, 其功率传递路线和直驶时的相同。

$$n_{qz} = n_{qy} = \frac{n_i}{i_{zh} i_4}$$

两路功率在两侧汇流行星排排汇流后输出, 左、右两侧行星架转速为:

低速侧:

$$n_{jz} = \frac{1}{1+k} \left(\frac{1}{i_{zh} i_1 i_{yz}} + \frac{k}{i_{zh} i_4} \right) n_i$$

高速侧:

$$n_{jy} = \frac{1}{1+k} \left(\frac{1}{i_{zh} i_1 i_{yy}} + \frac{k}{i_{zh} i_4} \right) n_i$$

第三工作阶段为正向液机工况。左、右液压马达输出轴正方向旋转, 控制左、右液压泵的泵油量, 使右液压马达的转速大于左液压马达的转速, 连续控制泵油量得到连续的无级转向半径。

由上述转向时各工作阶段的研究可知, 造成两侧履带速度差的主要因素是两侧的液压机组的传动比 i_{yz} 和 i_{yy} 不同, 或者说是左、右两侧的马达转速 n_{Mz} 、 n_{My} 不同。

该传动装置转向时两侧输出速度如图 8-8-33 所示。

该液压机机械无级综合传动的优点是机动性能高, 能够实现无级变速和无级转向及中心转向; 由于扩大机械传动部分的动力, 转向又无摩擦部件, 因此效率高; 采用液压传动元件, 操纵车辆容易; 传动装置零部件数少、维修性好; 体积小、质量小。缺点是受液压泵和马达压力及转速的限制, 传递功率还难以大幅度提高。

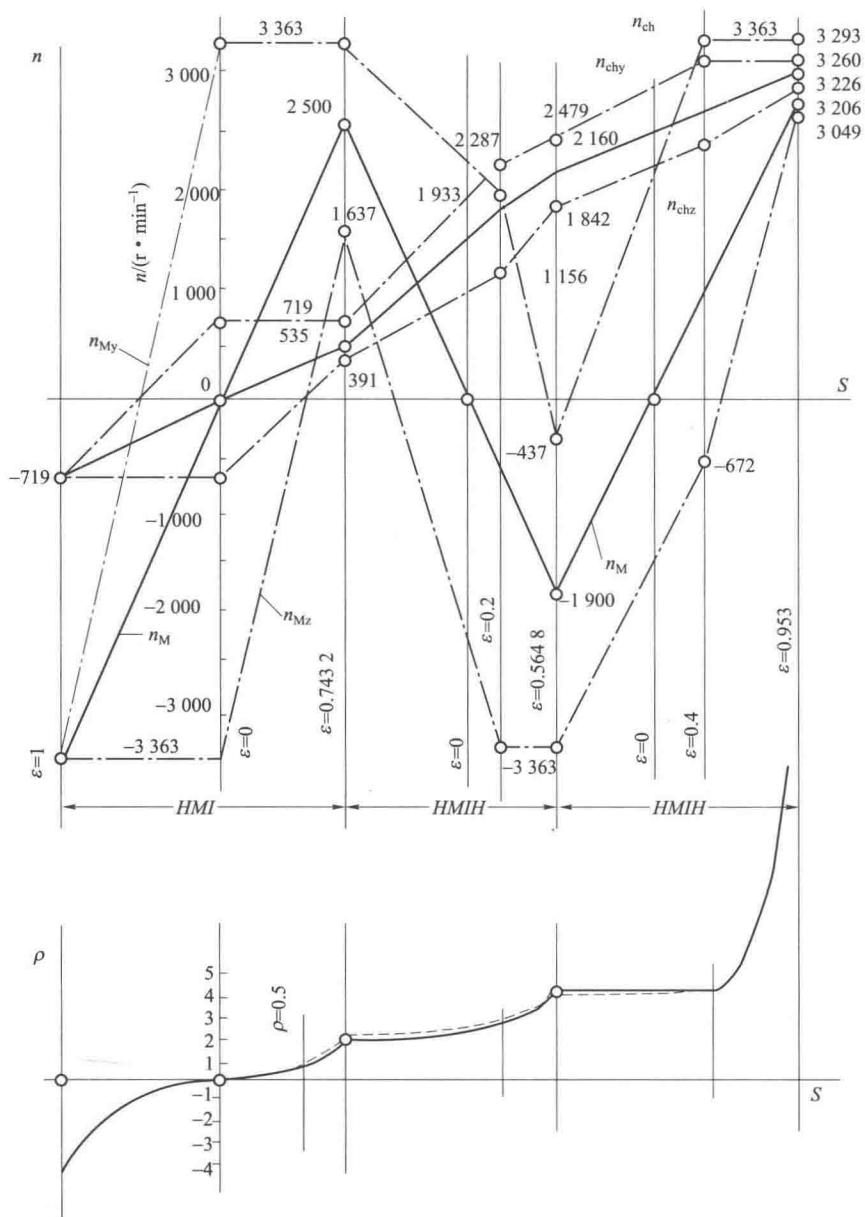


图 8-8-33 HMPT-500 转向时输出速度图

第九节 综合传动

本章第一节传动概述中介绍了双流传动，双流传动指变速机构与转向机构采用并联方式，从发动机传来的动力分为两路：一路经变速机构，另一路经转向机构，两路功率经汇流行星排汇合后再经侧减速器传至主动轮。双流传动装置通常由液力变矩器及前传动、变速机构、转向机构、汇流机构等集成于一体，称为综合传动装置。

双流传动装置按照两侧履带速度的变化关系，可以分为独立式双流传动和差速式双流传动。

如果发动机转速不变，坦克的双流传动系由直驶改为转向时，高速侧履带速度不变，低速侧履带速度减低，这种双流传动系叫作独立式双流传动系。高速履带速度增大，低速履带速度降低，坦克中心速度保持不变的双流传动系叫作差速式双流传动系。

在独立式双流传动装置中，车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮与齿圈转动方向相同的，是正独立式双流传动；汇流行星排中太阳齿轮不转动的，是零独立式双流传动。

在差速式双流传动装置中，车辆直驶时，汇流行星排中太阳齿轮与齿圈转动方向相同的，是正差速式双流传动；汇流行星排中太阳齿轮与齿圈转动方向相反的，是负差速式双流传动；汇流行星排中太阳齿轮不转动的，是零差速式双流传动。

第八节中的 XHM-1500-2 传动就是零差速双流传动。

一、正独立式双流传动

我国 155 mm 履带式自行火炮采用双流传动装置，该双流传动装置是由前传动、变速机构、转向机构等部分组成（图 8-9-1）。

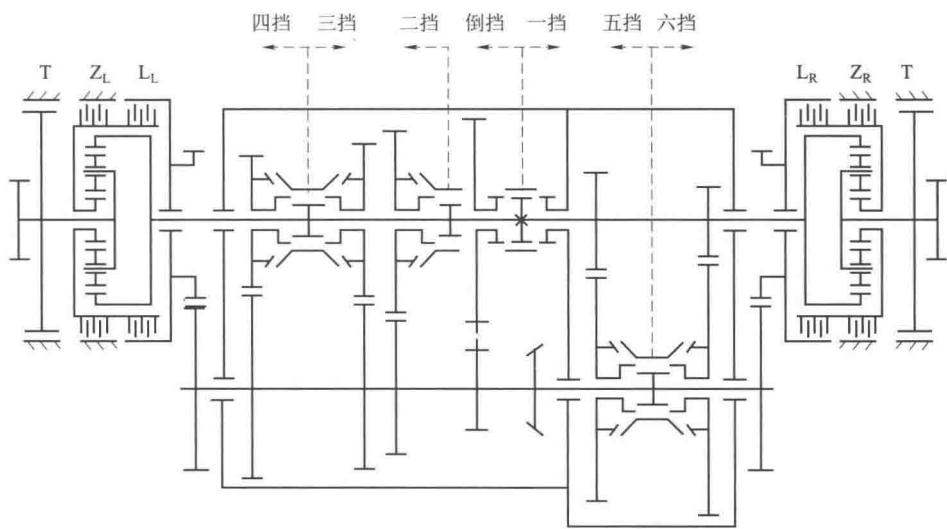


图 8-9-1 正独立式双流传动系

由发动机发出的动力，通过主离合器经恒定速比的前传动带动中间轴转动。中间轴将动力分两路传递：一路经变速机构带动主轴，从而带动两侧汇流行星排的齿圈；另一路经一对圆柱齿轮和两侧的转向离合器带动汇流行星排的太阳齿轮。两路动力在汇流行星排汇合后，由行星架输出，经联轴器传到两侧的侧减速器和主动轮。在行星架输出轴上装有停车制动器。

综合变速箱中的变速部分是定轴式的，二、三、四、五、六挡各经过一对齿轮。倒挡时增加了一个倒挡中间齿轮，因而改变了主轴转动的方向。一档是将主轴制动，动力只经过转向路传到汇流行星排的太阳齿轮来实现。设发动机的转速为 n_e ，则第 i 挡变速部分汇流行星

排齿圈转速为

$$n_q = \frac{n_e}{i_{bi} i_q}$$

转向部分汇流行星排太阳轮转速为

$$n_l = \frac{n_e}{i_z i_q}$$

这里, i_q ——发动机到中间轴的前传动比;

i_{bi} ——中间轴到汇流排齿圈的第 i 挡变速传动比;

i_z ——中间轴到汇流排的太阳轮的转向传动比。

汇流行星排行星架的转速为

$$n_j = \frac{n_l + k n_q}{1 + k} = \frac{\frac{n_e}{i_z i_q} + k \frac{n_e}{i_{bi} i_q}}{1 + k}$$

所以, i 挡双流传动比为

$$i_{shi} = \frac{n_e}{n_j} = \frac{(1+k) i_z i_{bi}}{i_{bi} + k i_z}$$

当离合器 L_L 、 L_R 接合, 制动器 Z_L 、 Z_R 分离时, 车辆按照某挡位直行。

左侧离合器 L_L 分离, 制动器 Z_L 制动, 就制动了太阳轮, 则左侧 (低速侧) 双流传动比为:

$$i_{sh(1)} = \left(1 + \frac{1}{k}\right) i_{bi}$$

右侧保持直线行驶状态, 双流传动比为:

$$i_{sh(2)} = \frac{(1+k) i_z i_{bi}}{i_{bi} + k i_z}$$

通过前面转向机构中介绍的转向半径与两侧传动比的关系, 可以得出转向半径如下:

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_{sh(1)} + i_{sh(2)}}{i_{sh(1)} - i_{sh(2)}} \right) = \frac{B}{2} \left(\frac{2k i_z}{i_{bi}} + 1 \right)$$

这里, B ——履带中心距。

从上式可以看出, 每个挡都有自己的规定转向半径, 挡位越高, 则规定转向半径越大。

一挡时, $i_{bi} = \infty$, 所以:

$$R = \frac{B}{2}$$

倒挡直线行驶时, 汇流排齿圈旋转方向与前进挡时的相反, 行星架旋转方向相反。如果制动左侧太阳轮, 会使左侧的行星架按相反方向转得更快。车辆向左转向, 而转向中心在右侧, 这就是履带车辆的倒挡反转向。

从图 8-9-1 中可以看, 变速回路各挡经过一次齿轮啮合, 转向回路也经过一次齿轮啮合。车辆直驶时, 太阳轮和齿圈同向旋转; 转向时, 制动侧行星架降速, 非制动侧行星架转速维持不变。所以, 该传动为正独立式双流传动。

图 8-9-2 和图 8-9-3 分别为该综合传动装置的变速总成和转向总成。

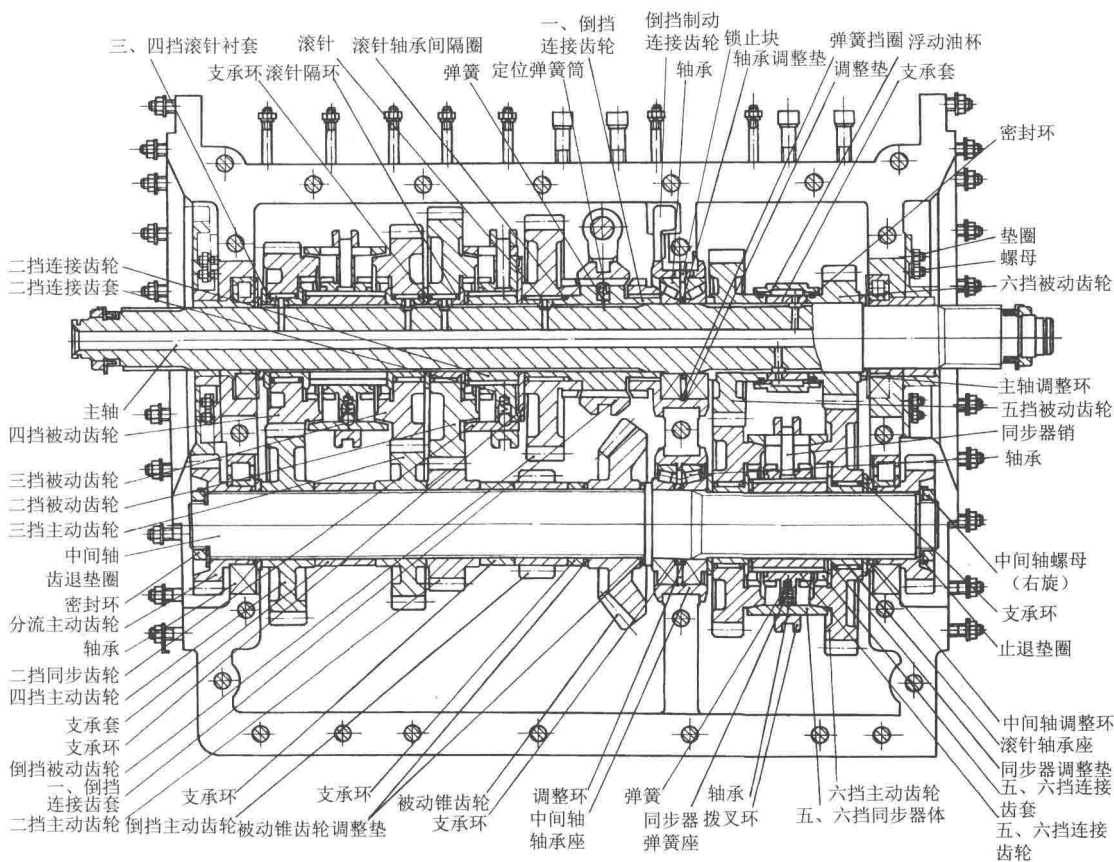


图 8-9-2 变速总成

二、零独立式双流传动

坦克直线行驶时，两侧汇流行星排的太阳轮完全被制动，只有变速一路传递功率，因此该传动为单功率流。以规定转向半径转向时，内侧太阳轮方向为负（反转），外侧太阳轮仍和直驶时一样完全制动，具有这种运动学特点的独立式双流传动，称为零独立式双流传动。德国 T-V 坦克的双流传动（图 8-9-4）就属于零独立双流传动。

对于零差速式双流传动和零独立式双流传动，坦克直驶时，其两侧汇流行星排的太阳轮都被制动，转向分路不传递动力，只有变速分路一路传递动力。行星排相当于齿圈输入、行星架输出的减速器，此时双流传动比即为变速分路的传动比。

$$i_{sh} = i_{bi} \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

转向时，低速侧制动器分离，离合器接合，变速分路和转向分路都传递动力，汇流排太阳轮旋转方向与齿圈相反，低速侧双流传动比为

$$i_{sh(1)} = \frac{i_{bi} i_z (1+k)}{k i_z + i_{bi}}$$

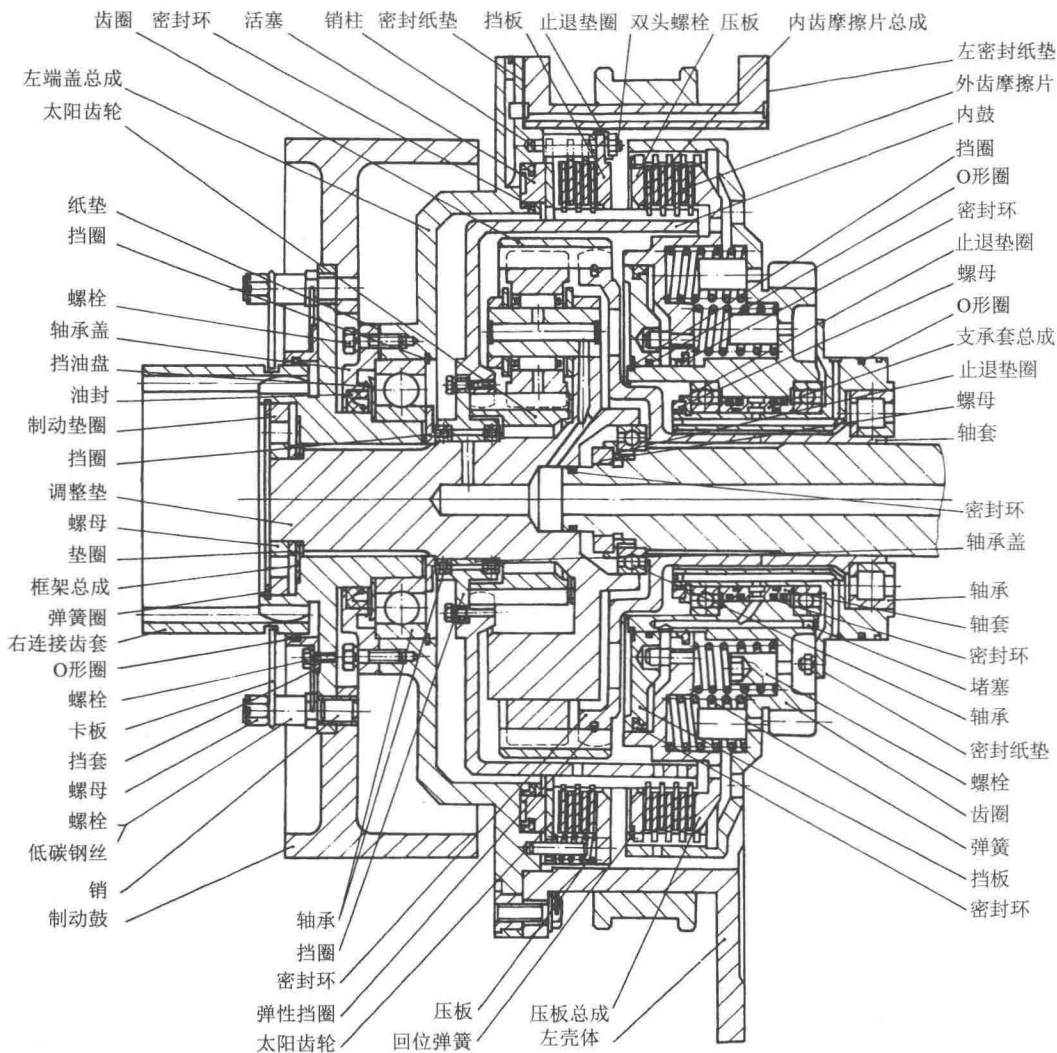


图 8-9-3 转向总成

需要注意的是，公式中的转向路传动比 i_z 为负值。

高速侧和直驶工况一样，只有变速分路一路传递动力。汇流行星排太阳轮被完全制动，其双流传动比不变。

$$i_{sh(2)} = i_{bi} \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

零独立式双流传动各挡第二规定转向半径的形式与正独立双流传动一样，但是，式中的 i_z 取负值。

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_{sh(1)} + i_{sh(2)}}{i_{sh(1)} - i_{sh(2)}} \right) = -\frac{B}{2} \left(\frac{2ki_z}{i_{bi}} + 1 \right)$$

由此式可知，各挡第二规定转向半径只与 i_z 、 k 和 i_{bi} 有关。将低速侧停车制动器 T 完全制动时，转向半径为第一规定转向半径 $R = B/2$ 。但是制动转向只能用于一、二挡，高速挡是无法使用的。

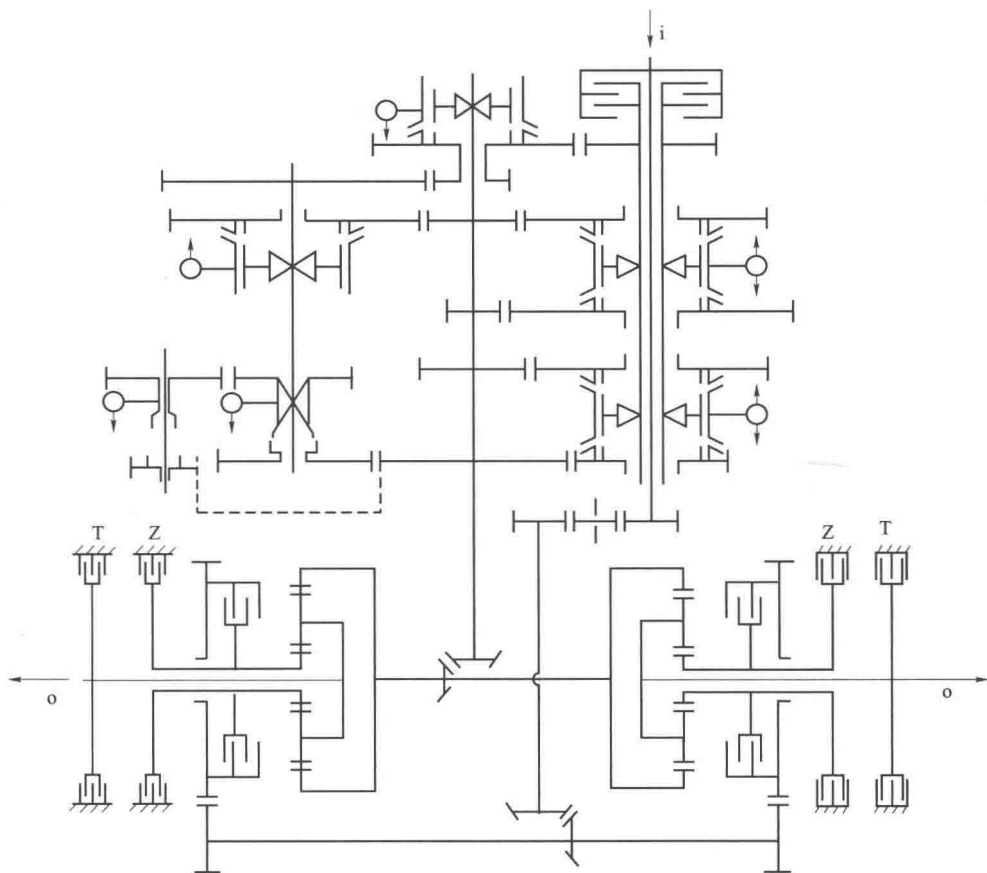


图 8-9-4 零独立双流传动

理论上还有一种独立式双流传动，叫作负独立式双流传动。当坦克直驶时，两侧汇流行星排太阳轮的角速度大小相等、方向为负。以规定半径转向时，外侧太阳轮的角速度仍和直驶时的一样，内侧太阳轮则必须以更大的角速度反转。这种方案理论上是成立的，但其结构非常复杂，不合实用，因此未见应用实例。

三、正差速式双流传动

图 8-9-5 所示为美国 CD-850 液力机械传动装置简图。它位于坦克后部发动机之后，前部与发动机相连接，两侧通过联轴器与侧减速器相连接，由前传动、综合变矩器、两个换挡行星排、一个柱形单差速器和两个汇流行星排所组成。

换挡行星排由高低速行星排 k_b 和倒挡行星排 k_{-1} 组成。两行星排的太阳齿轮均与空心轴连接，是两个行星排的主动件。高低速行星排 k_b 的行星架与倒挡行星排 k_{-1} 的齿圈通过中心轴连接一起，又与两侧汇流行星排的齿圈相连接。闭锁离合器 L 的内外毂分别与高低速行星排 k_b 的太阳齿轮和齿圈连接。倒挡制动器 Z_{-1} 的制动鼓与倒挡行星排 k_{-1} 的行星架连成一体。低速制动器 Z_1 的制动鼓与高低速行星排 k_b 的齿圈连成一体。

柱形差速器的行星架是差速器的主动件，与最外层套轴连接，最外层套轴与变矩器泵轮连在一起。行星架上的左右行星齿轮分别与左右内齿圈相啮合，左右行星齿轮之间成对啮

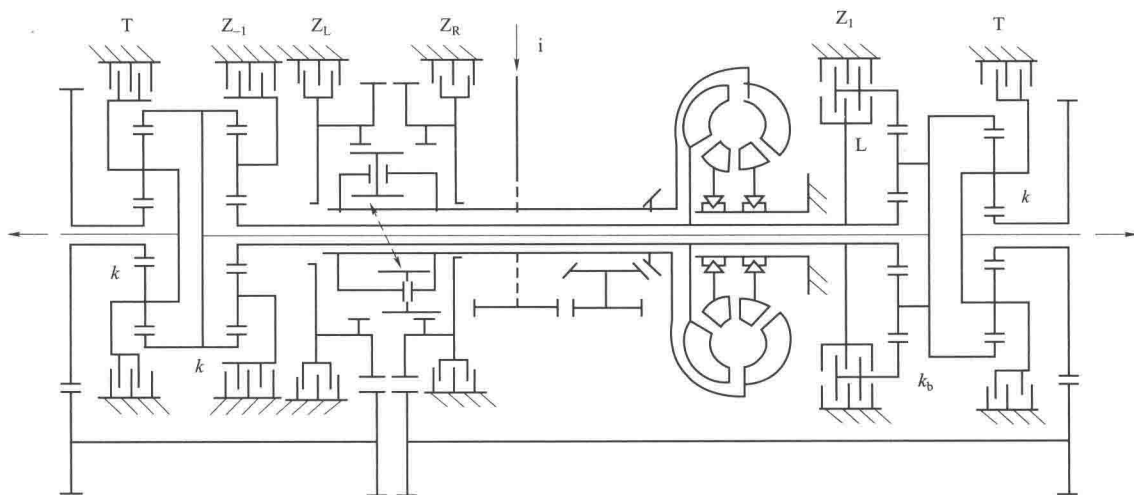


图 8-9-5 CD-850 液力机械传动装置

合。左、右内齿圈外边的大齿轮，分别与左、右两个半轴上的外齿轮啮合。左、右两个半轴各通过一对齿轮与左、右汇流行星排的太阳齿轮连接。

汇流行星排将经变速行星排与差速器传来的两路动力汇合在一起，再经被动件行星架传给两侧的侧减速器。

(一) 变速

1. 空挡及制动

闭锁离合器分离，并且低速制动器和倒挡制动器均松开时，两个变速行星排都空转，动力被中断，此时是空挡状态。

不论坦克在何种状态，如果将两个停车制动器同时制动，两条履带就会减速直至停止不动，这就是制动状态。

2. 低速挡

闭锁离合器 L 分离，低速制动器 Z_1 制动，其他制动器都松开，此时为低速挡工作状态。由发动机经前传动圆柱齿轮对、锥齿轮对传来的动力，带动综合变矩器泵轮转动，同时带动单差速器的行星架转动。两转向制动器都松开，如果两条履带遇到的阻力大致相等，差速器将做整体回转。差速器齿的两个内齿圈通过两对齿轮对，分别带动两汇流行星排太阳齿轮转动。由发动机到汇流行星排太阳齿轮的传动比为：

$$i_z = i_q i_{zh}$$

式中， i_q ——由圆柱齿轮和圆锥齿轮组成的前传动比；

i_{zh} ——由差速器输出到汇流排太阳轮的传动比。

变矩器涡轮被泵轮带动时，便通过空心轴带动两个换挡行星排的太阳齿轮。由于低速制动器 Z_1 制动，高低速行星排 k_b 减速，行星架带动两侧汇流行星排齿圈转动。此时，倒挡行星排由于倒挡制动器 Z_{-1} 松开而空转，由发动机到汇流行星排齿圈的传动比为：

$$i_{b1} = \frac{i_q}{i_p} (1 + k_b)$$

这里, i_p ——变矩器传动比, 为涡轮转速与泵轮转速之比, $i_p < 1$ 。

由汇流行星排的运动学基本方程式可求出低速挡时机械部分双流传动比为:

$$i_{sh1} = \frac{(1+k) i_z i_{b1}}{i_{b1} + k i_z} = \frac{(1+k) (1+k_b) i_{zh} i_q}{1+k_b + k i_{zh} i_p}$$

3. 高速挡

闭锁离合器 L 接合, 其他制动器均松开, 此时为综合变速箱的高速挡工作状态。此时高低速行星排 k_b 由于齿圈与太阳齿轮被闭锁离合器 L 闭锁而做整体回转, 倒挡行星排 k_{-1} 做整体空转, 综合变速箱变速部分的传动比为:

$$i_{b2} = \frac{i_q}{i_p}$$

转向部分传动比仍与前面低速挡时相同, 故综合变速箱高速挡时双流传动比为:

$$i_{sh2} = \frac{(1+k) i_z i_{b2}}{i_{b2} + k i_z} = \frac{(1+k) i_{zh} i_q}{1+k i_{zh} i_p}$$

4. 倒挡

闭锁离合器 L 分离, 倒挡制动器 Z_{-1} 制动, 低速制动器 Z_1 松开, 此时为倒挡工作状态。此时高低速行星排 k_b 空转, 倒挡行星排 k_{-1} 太阳齿轮为主动件, 行星架被制动, 齿圈为被动件。倒挡行星排减速反转, 将动力传给左右汇流行星排的齿圈, 而转向部分的工作情况仍与前面低速挡时相同。因此, 汇流行星排太阳齿轮与齿圈运动方向相反。

倒挡时变速部分的传动比为:

$$i_{b-1} = \frac{i_q}{i_p} (-k_b)$$

倒挡时机械部分的双流传动比为:

$$i_{sh-1} = \frac{(1+k) i_z i_{b-1}}{i_{b-1} + k i_z} = -\frac{(1+k) k_{-1} i_{zh}}{-k_{-1} + k i_{zh} i_p}$$

(二) 各挡转向

综合变速箱在各挡下工作状态, 如将一侧的转向制动器制动, 该侧差速器的齿圈和汇流行星排太阳齿轮被制动, 而另一侧的差速器齿圈和汇流行星排太阳齿轮的转速将增加一倍。该侧的双流传动比:

$$i_{sh(1)} = i_{bi} \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

这里, i_{bi} ——第 i 挡的变速传动比。

另一侧的太阳轮转速增加一倍, 相应双流传动比为:

$$i_{sh(2)} = \frac{(1+k) i_z i_{bi}}{2i_{bi} + k i_z}$$

可求出各挡下的规定转向半径为:

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_{sh(1)} + i_{sh(2)}}{i_{sh(1)} - i_{sh(2)}} \right) = \frac{B}{2} \left(\frac{k i_z}{i_{bi}} + 1 \right)$$

低速挡转向半径:

$$R_1 = \frac{B}{2} \left(\frac{ki_z}{i_{b1}} + 1 \right) = \frac{B}{2} \left(\frac{ki_{zh}i_p}{1+k_b} + 1 \right)$$

高速挡转向半径:

$$R_2 = \frac{B}{2} \left(\frac{ki_z}{i_{b2}} + 1 \right) = \frac{B}{2} (ki_{zh}i_p + 1)$$

倒挡转向半径:

$$R_{-1} = \frac{B}{2} \left(\frac{ki_z}{i_{-1}} + 1 \right) = \frac{B}{2} \left(\frac{ki_{zh}i_p}{-k_{-1}} + 1 \right)$$

从上述公式中可以看出,转向半径与前传动比 i_q 、转向路传动比 i_{zh} 、行星排参数 k_b 及 k_{-1} 、变矩器传动比 i_p 有关。

变矩器传动比 i_p 是涡轮转速和泵轮转速之比,是一个变值,并且会随地面阻力的变化而变化。转向半径与变矩器传动比成正比关系,即转向半径随涡轮转速的增加而加大。

坦克直线行驶时,两侧汇流排太阳轮的角速度大小相等,它们的旋转方向和齿圈方向一致。以规定转向半径转向时,内侧太阳轮被完全制动,外侧太阳轮的角速度比直线行驶时增大一倍,方向和齿圈方向一致。具有这种运动学特点的差速式双流传动机构称为正差速式双流传动。

四、零差速式双流传动

(一) X-1100 综合传动装置

图 8-9-6 所示是美国通用汽车公司阿里森分公司研制的 X-1100 型综合传动装置,这是一种液力机械零差速双流传动装置,其传动功率为 1 100 kW (在 3 000 r/min 时),应用在车质量为 59 t 的 M1 艾布拉姆斯坦克上。

X-1100 型综合传动装置由前传动、带闭锁离合器的液力变矩器、行星变速机构、静液转向装置、汇流行星排、后传动等组成。

液力变矩器为三元件单级两相式,带闭锁离合器,其最大变矩比为 2.2。闭锁离合器分离时,为液力传动工况,可增大输出扭矩;车速高时,闭锁离合器接合,为机械工况,可提高传动效率。

变速机构为换联式三自由度行星变速,有四个前进挡和两个倒挡。它由三个行星排 (k_1 、 k_2 、 k_3)、两个换挡离合器 (L_1 、 L_2) 和三个制动器 (Z_1 、 Z_2 、 Z_3) 组成。三自由度行星变速机构每挡需操纵两个元件,由于采用换联式组合,使顺序换挡时只操纵一个元件。

转向装置采用静液差速无级转向机构,它由变量液压泵、双向定量马达、减速行星排、横轴和汇流行星排组成。

1. 变速

前传动的被动齿轮将动力分两路传递:一路为变速部分,另一路为转向部分。

将离合器 L_1 接合,再分别制动制动器 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 时,变速装置为一挡、二挡、三挡工作状态;将离合器 L_1 、 L_2 都接合,此时是四挡工作状态;将离合器 L_2 接合,再分别制动制动器 Z_1 、 Z_2 时,分别对应倒一挡和倒二挡。

变速部分各挡传动比公式如下:

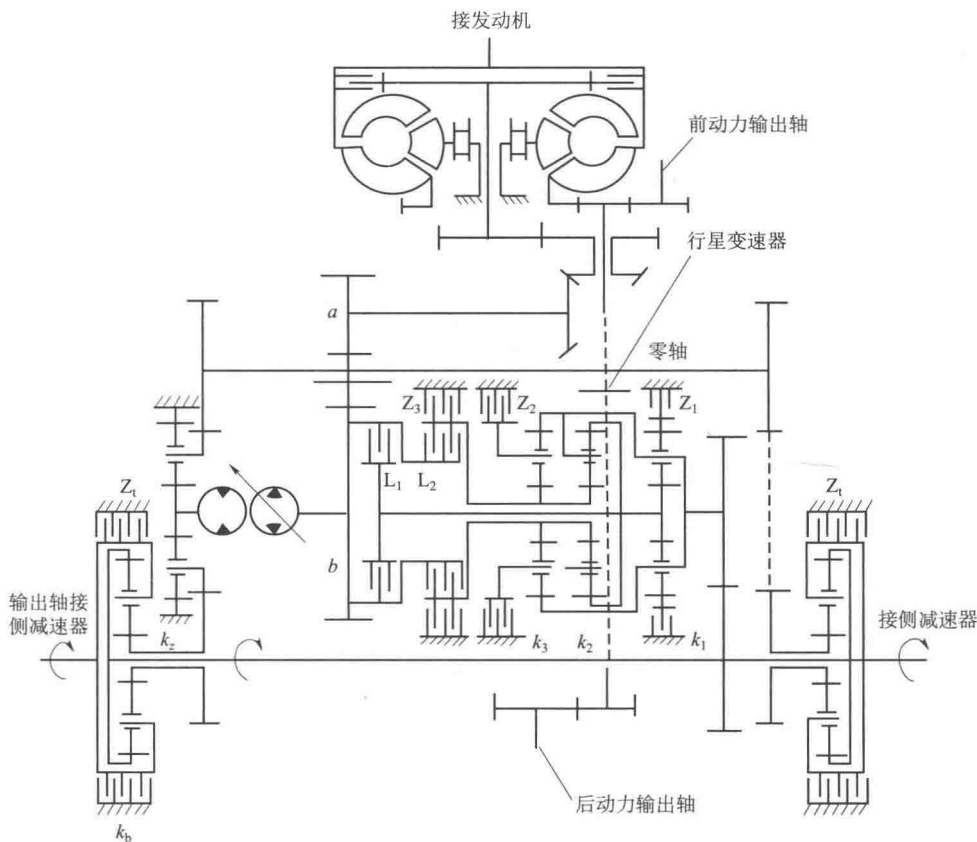


图 8-9-6 X-1100 型综合传动装置

$$i_{xb1} = 1 + k_1; i_{xb2} = \frac{1 + k_1 + k_3}{k_2}; i_{xb3} = 1 + \frac{1}{k_2}; i_{xb4} = 1; i_{xb-1} = 1 - k_1 k_2; i_{xb-2} = -k_3$$

当坦克直线行驶时，驾驶员控制液压油泵空转而不产生高压油液，液压马达没有输出，而且具有自锁作用。这时，两侧汇流行星排太阳齿轮也不转动，动力只经变速部分传递。此时双流传动比为：

$$i_{shi} = i_q i_{bh} i_{xbi} \frac{1}{i_p} \left(1 + \frac{1}{k_h} \right)$$

式中， i_q ——发动机到中间轴的前传动比；

i_{bh} ——由行星变速输出到汇流排齿圈的传动比；

i_p ——变矩器传动比，为涡轮转速与泵轮转速之比， $i_p < 1$ ；

k_h ——汇流排特性参数。

2. 转向

液压油泵由前传动被动齿轮带动工作时，驾驶员可以控制油泵输出的高压油液的流量和方向。不同的高压油液流量和方向可以改变液压马达转子的转速和转动方向。液压马达转子连接着转向行星排的太阳齿轮。

转向时，驾驶员控制油泵供油量及供油方向，驱动液压马达转子以一定转速向某一方向转动，带动转向行星排的太阳齿轮。转向动力从行星架减速输出，通过圆柱齿轮对及转向零

轴分别带动左、右两侧汇流行星排太阳齿轮。

从转向行星排行星架到右侧的汇流行星排太阳轮之间的齿轮传动比到左侧多一次齿轮啮合，两汇流行星排太阳齿轮转动方向相反。这样，左、右两汇流行星排的行星架就形成了速差，两条履带将有不同的速度，坦克将以某一规定转向半径转向。

低速侧汇流行星排有如下关系：

$$-n_t + k_h n_q - (1 + k_h) n_j = 0$$

$$\text{即 } -\frac{n_e}{i_q(1+k_z)i_{zh}i_{PM}} + k_h \frac{n_e}{i_{bh}i_{xbi}i_q} - (1 + k_h) n_j = 0$$

$$\frac{i_q}{i_p}$$

低速侧的双流传动比：

$$i_{sh(1)} = \frac{1+k_h}{i_p} \left[\frac{i_q(1+k_z)i_{zh}i_{bh}i_{xbi}i_{PM}}{-i_{bh}i_{xbi} + k_h(1+k_z)i_{PM}i_{zh}} \right]$$

高速侧汇流行星排有如下关系：

$$n_t + k_h n_q - (1 + k_h) n_j = 0$$

高速侧的双流传动比：

$$i_{sh(2)} = \frac{1+k_h}{i_p} \left[\frac{i_q(1+k_z)i_{zh}i_{bh}i_{xbi}i_{PM}}{i_{bh}i_{xbi} + k_h(1+k_z)i_{zh}i_{PM}} \right]$$

各挡的规定转向半径为：

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_{sh(1)} + i_{sh(2)}}{i_{sh(1)} - i_{sh(2)}} \right) = \frac{B}{2} \frac{k_h(1+k_z)i_{zh}i_{PM}}{i_{bh}i_{xbi}}$$

式中， i_{zh} ——转向行星排行星架到汇流行星排太阳轮之间的齿轮传动比；

k_z ——转向排特性参数；

i_{PM} ——液压泵马达的传动比。

从上述公式中得出，车辆转向半径和挡位、汇流排特性参数 k_h 、转向路传动比 (k_z 、 i_{zh})、变速支路后传动比 i_{bh} 、液压泵马达传动比 i_{PM} 有关。

各前进挡时，各行星变速传动比是不同的，不同挡位具有不同的规定转向半径，而且高档时转向半径大。转向时，高速侧行星排的太阳轮与齿圈旋转方向相同，相比直线行驶时，行星架输出加速；而低速侧行星排的太阳轮与齿圈旋转方向相反，行星架输出减速。所以，这种双流传动系属于差速式。直线行驶时，这种传动系汇流行星排太阳齿轮被制动不转，因此这种双流传动系也称作零差速式双流传动系。

公式中的参数为 i_{PM} ，是一个变量，它随驾驶员对油泵供油量的控制程度而无级改变。因此，在任一排挡时，当液压马达转子转速达到最大值时， i_{PM} 最小，从而得到该挡的最小规定转向半径。各挡规定转向半径可随液压泵马达传动比在无穷大（直线行驶）和某一最小值之间无级变化，因此这种转向称为无级转向。

当变速箱挂空挡时， $R=0$ ，此时为中心转向。

(二) ESM-500 综合传动装置

ESM-500 综合传动装置（图 8-9-7）是由法国维罗/西斯姆公司于 20 世纪 80 年代初开始研制的综合传动装置，装备在法国的“勒克莱尔”主战坦克上。

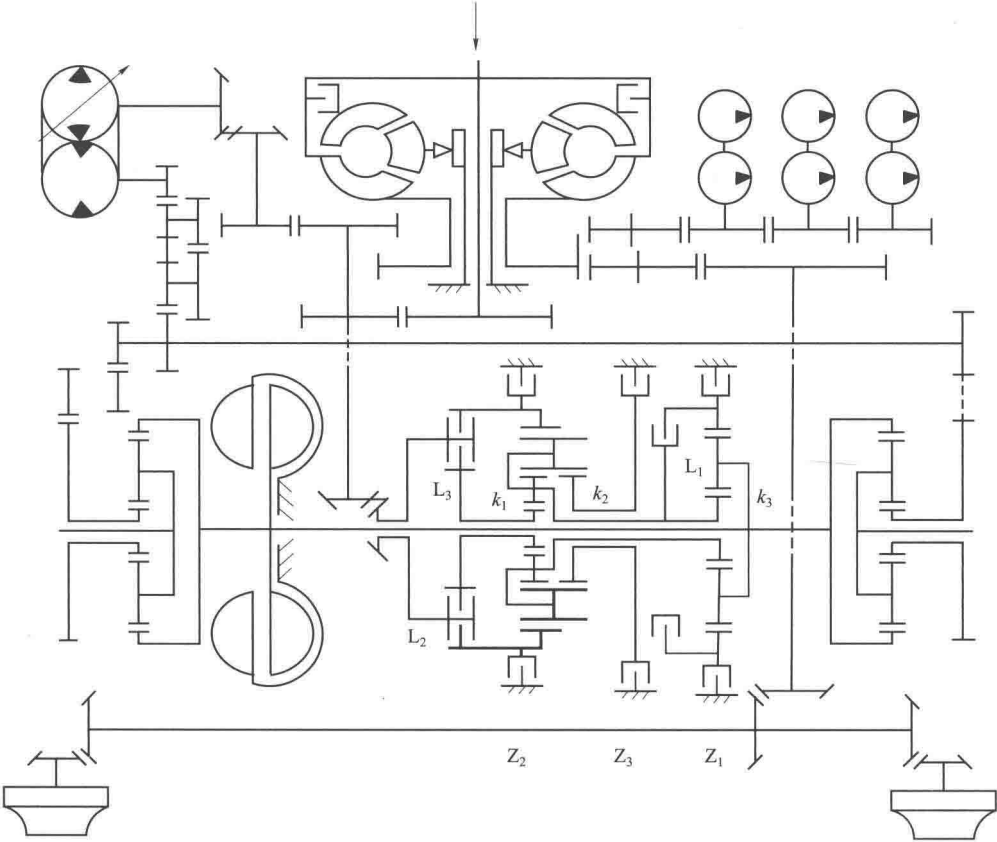


图 8-9-7 ESM-500 综合传动装置

1. 变速

ESM-500 型综合传动装置变速机构是换联式四自由度行星变速机构。
各挡的操纵件关系及传动比见表 8-9-1，表中的传动比不包含前传动、后传动。

表 8-9-1 变速箱挡位和传动比

挡位	操作件	传动比计算
爬挡	$L_3、Z_1、Z_3$	$\left(1+\frac{k_1}{k_2}\right)(1+k_3)$
一档	$L_2、Z_1、Z_3$	$\left(1+\frac{1}{k_2}\right)(1+k_3)$
二挡	$L_2、L_3、Z_1$	$1+k_3$
三挡	$L_1、L_2、Z_3$	$1+\frac{1}{k_2}$
四挡	$L_1、L_2、L_3$	1
倒一档	$L_3、Z_1、Z_2$	$(1-k_1)(1+k_3)$
倒二挡	$L_1、L_3、Z_2$	$1-k_1$

2. 转向

直线行驶时，两侧汇流行星排的太阳齿轮被锁住，以保证车辆在任何地形条件下都能稳定直线行驶。

转向时，驾驶员控制油泵供油量及供油方向，驱动液压马达转子以一定转速向某一方向转动，带动零轴转动，然后零轴传到左、右汇流行星排的太阳齿轮。因为零轴到右侧汇流行星排太阳齿轮的传动比到左侧多了一次齿轮啮合，所以左、右齿轮的旋转方向相反。

低速侧汇流行星排有如下关系：

$$-\frac{n_e}{i_z} + k_h \frac{n_e}{i_{bi}} - (1 + k_h) n_{j1} = 0$$

低速侧的双流传动比：

$$i_{sh(1)} = \frac{n_e}{n_{j1}} = \frac{(1 + k_h) i_z i_{bi}}{k_h i_z - i_{bi}}$$

高速侧汇流行星排有如下关系：

$$\frac{n_e}{i_z} + k_h \frac{n_e}{i_{bi}} - (1 + k_h) n_{j2} = 0$$

高速侧的双流传动比：

$$i_{sh(2)} = \frac{n_e}{n_{j2}} = \frac{(1 + k_h) i_z i_{bi}}{k_h i_z + i_{bi}}$$

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_{sh(1)} + i_{sh(2)}}{i_{sh(1)} - i_{sh(2)}} \right) = \frac{B}{2} \frac{k_h i_z}{i_{bi}}$$

其中

$$i_{bi} = i_{q1} i_{q2} i_{xbi}, i_z = i_{q1} i_{q3} i_{PM}$$

式中， i_{q1} ——发动机输出到功率分流点的传动比，包含变矩器传动比；

i_{q2} ——功率分流点到行星变速输入点的传动比；

i_{q3} ——功率分流点汇流排太阳轮的齿轮传动比，不含泵马达的传动比；

i_{PM} ——泵马达传动比。

由以上分析可知，ESM500 同 X-1100 一样，每个挡位都有自己的规定转向半径，而且高档的转向半径大，并且都能实现无级转向；当变速箱挂空挡时，可以实现为中心转向。

(三) HSWL-354 综合传动装置

HSWL-354 综合传动装置是德国伦克公司在第二次世界大战后研制的第二代传动装置（图 8-9-8），它是 HSWL 传动装置系列中的最具代表性传动装置，被用于德国“豹 II”坦克、三型装甲抢救车，英国的“维克斯” MK7 主战坦克。

HSWL-354 型综合传动装置由带闭锁离合器的综合液力变矩器、行星变速机构、倒顺机构、转向机构、汇流排、制动器和辅助机构组成。

倒顺机构由三个锥齿轮和两个行星排组成。主动锥齿轮连接变矩器涡轮轴，两个被动齿轮分别连接前进挡、倒挡行星排的行星架，两个行星排的传动比相同。倒顺机构与变速机构串联，因而可以获得相同的前进挡和倒挡数目。

变速机构由三个行星排、三个片式制动器和一个片式离合器组成。

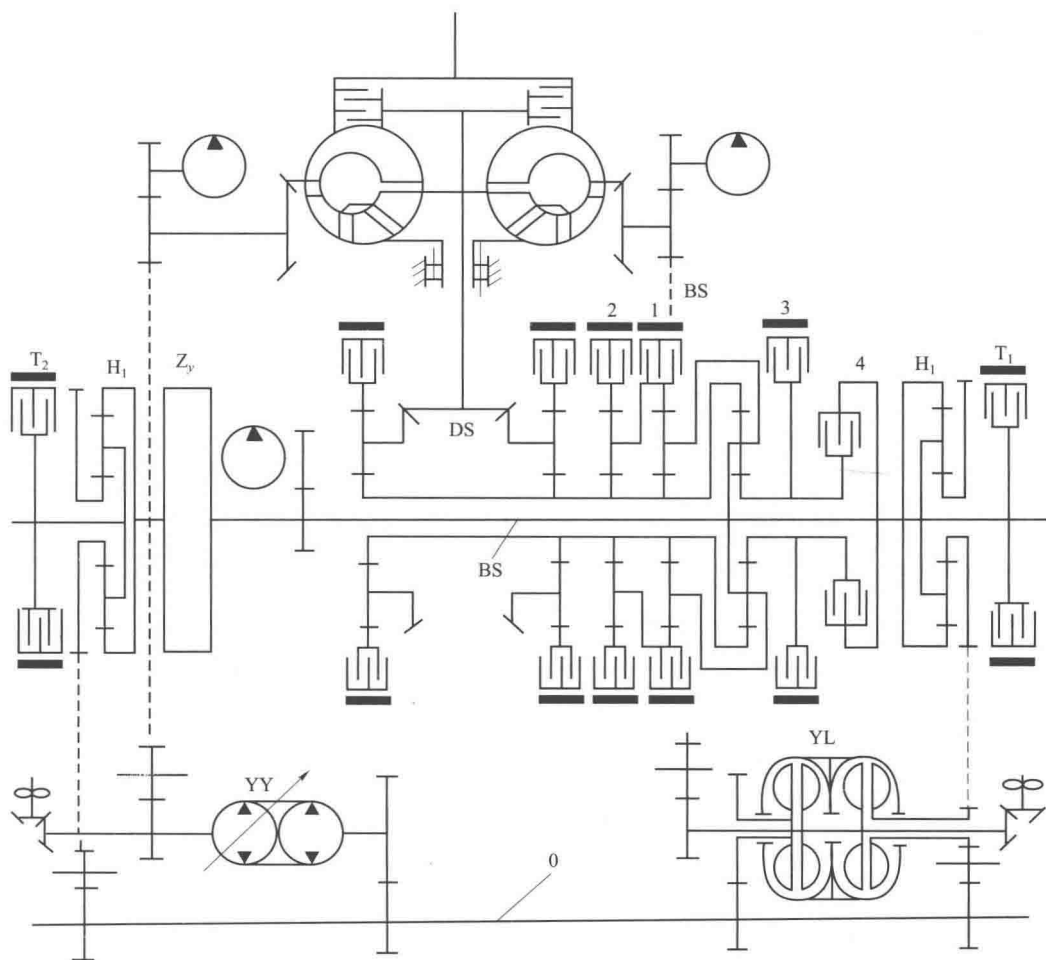


图 8-9-8 HSWL-354 综合传动装置

HSWL-354 综合传动装置的转向机构为静液-动液复合差速转向机构，由静液转向机组、液力助力耦合器、零轴、汇流行星排等部分组成。

其中，液力助力耦合器由两个液力耦合器组成，分别负责困难路面向左和向右的辅助转向。耦合器由专门的油泵迅速充油或排油。

制动器由一个液力制动器和两个机械制动器组成。液力制动器安装在变速机构和汇流行星排之间，采用自动控制方式。液力制动器在车辆高速行驶、下长坡时的制动过程中起主要作用，它可以持续制动并且不产生磨损问题。机械制动器是油冷片式摩擦制动器，安装在传动装置的两个输出端。当液力制动器的制动力矩随着转速的降低而减小时，机械制动器便自动地辅助增大制动力矩。驾驶员可通过脚踏板和液压系统来控制这两种制动器。

1. 变速

HSWL-354 型综合传动装置变速机构为串联式三自由度行星变速机构。

当制动器都松开、离合器也分离时，变速机构处于空挡状态。各挡的操纵件关系及传动比见表 8-9-2。

表 8-9-2 变速箱挡位

挡位	操作件	传动比计算
一档	S、Z ₁	$i_{b1} = \frac{i_d}{i_p} \frac{1}{1+k_{sd}} (1+k_1)$
二挡	S、Z ₂	$i_{b2} = \frac{i_d}{i_p} \frac{1}{1+k_{sd}} \frac{(1+k_1)(1+k_2)}{1+k_1+k_2}$
三挡	S、Z ₃	$i_{b3} = \frac{i_d}{i_p} \frac{1}{1+k_{sd}} \frac{1+k_3}{k_3}$
四挡	S、L	$i_{b4} = \frac{i_d}{i_p} \frac{1}{1+k_{sd}}$
倒一档	D、Z ₁	$i_{b-1} = -\frac{i_d}{i_p} \frac{1}{1+k_{sd}} (1+k_1)$
倒二挡	D、Z ₂	$i_{b-2} = -\frac{i_d}{i_p} \frac{1}{1+k_{sd}} \frac{(1+k_1)(1+k_2)}{1+k_1+k_2}$

i_d ——锥齿轮对传动比； k_{sd} ——倒顺机构行星排特性参数。

2. 转向

参照 ESM500 综合传动装置的分析，零差速双流传动的转向半径形式如下：

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{i_{sh(1)} + i_{sh(2)}}{i_{sh(1)} - i_{sh(2)}} \right) = \frac{B}{2} \frac{k_h i_z}{i_{bi}}$$
$$i_z = i_{zq} i_{zh} i_{PM}$$

式中， i_{zq} ——发动机到转向泵之间齿轮传动比；

i_{zh} ——液压马达到汇流行星排的太阳轮齿轮传动比。

HSWL-354 型综合传动装置采取变矩器前分流，转向路不包含变矩器，但是变速路包含变矩器。由于变矩器的传动比 i_p 随地面阻力自动变化的，所以传动装置在转向时没有一个确定不变的规定转向半径；只有当闭锁离合器将变矩器闭锁时，才有各挡、各马达转速下的规定转向半径。

当转向泵与液压马达转向功率不足时，其中一个液力耦合器会自动工作辅助转向。其他情况下，液力耦合器因无油而空转。

图 8-9-9 所示为英国大卫·布朗公司为“挑战者”坦克研制的 TN54 型综合传动装置，其变速机构为串联式四自由度行星传动，有六个前进挡和两个倒挡。转向机构采用变矩器后分流的静液差速转向机构，也是零差速双流传动。

五、负差速式双流传动

坦克直线行驶时，两侧汇流排太阳轮的角速度大小相等，旋转方向与齿圈的相反。以规定半径转向时，内侧太阳轮的速度比直驶时的大一倍，其方向仍然与齿圈的相反；外侧太阳轮完全被制动。这种差速式双流传动称为负差速式双流传动。英国“奇伏坦”坦克的传动装置即为负差速式双流传动（图 8-9-10）。

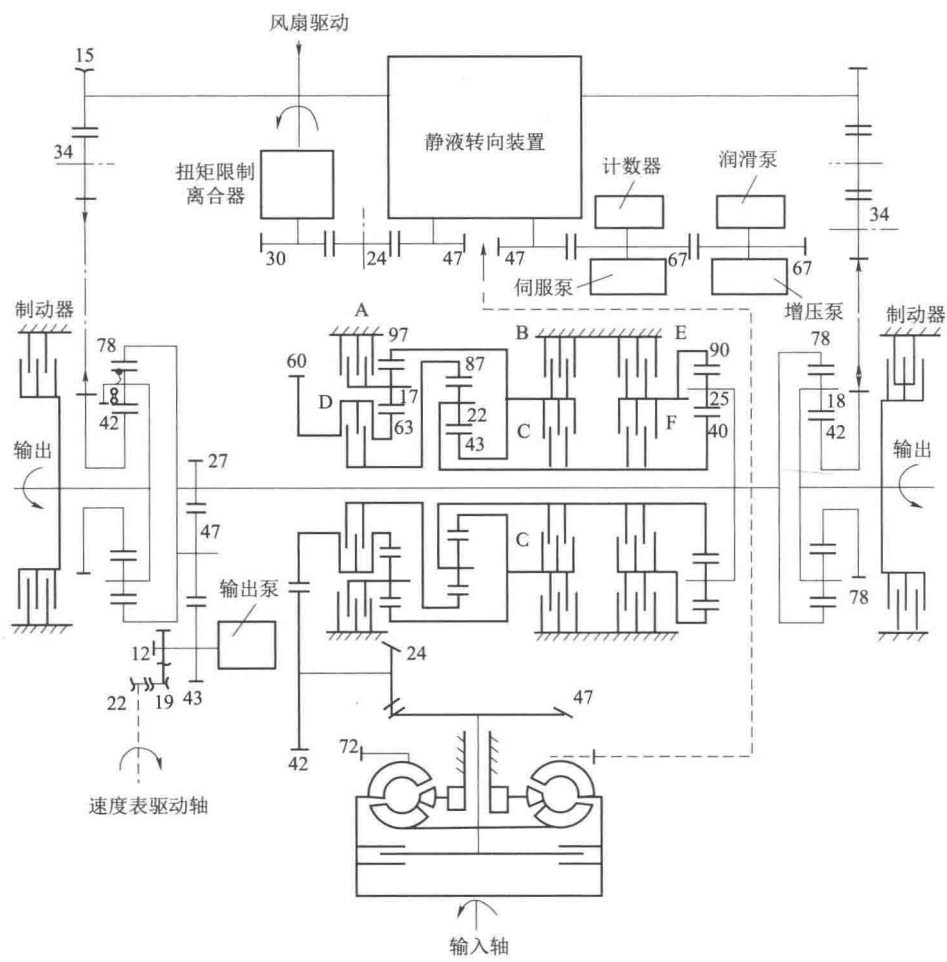


图 8-9-9 TN54 型综合传动装置

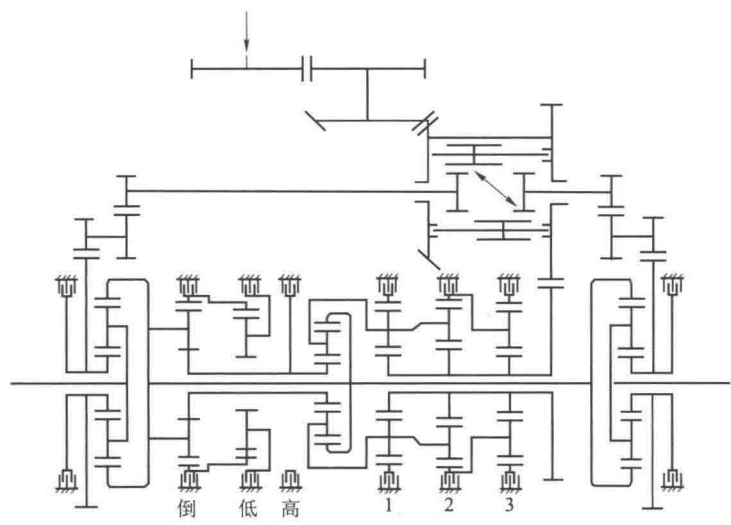


图 8-9-10 “奇伏坦” 坦克的双流传动装置

转向时, 外侧太阳轮制动, 只有变速一路传递动力, 其双流传动为:

$$i_{sh(2)} = \frac{i_{bi}(1+k)}{k}$$

低速侧变汇流行星排太阳轮以比直驶大一倍的转速旋转, 方向与齿圈相反。低速侧双流传动比为:

$$i_{sh(1)} = \frac{i_z i_{bi}(1+k)}{k i_z - 2 i_{bi}}$$

负差速式各挡双流传动的相对规定转向半径如下:

$$R = \frac{B}{2} \left(\frac{k i_z}{i_{bi}} - 1 \right)$$

第十节 传动系统操纵装置

坦克装甲车辆传动系统操纵装置是用来控制传动系统中各部件实现各种行驶功能的装置, 它主要包括主离合器操纵、变速箱操纵、转向操纵和其他辅助操纵等。借助操纵装置可以实现坦克的起步、变速、转向、制动、停车以及驻车等功能。

操纵装置的性能好坏对发挥动力与传动装置的技术性能、提高坦克的机动性以及乘员的战斗力都有很大的影响。

传动系统操纵装置的重点是变速操纵, 或者称为换挡操纵。换挡技术及其操纵装置的发展大致经历了手动(力)机械换挡、液压换挡、液压自动换挡及电液自动换挡四个阶段, 而且逐渐由手动换挡操纵发展成为自动换挡操纵。目前电液自动换挡技术在发达国家的坦克中已占主导地位。

一、操纵装置的分类

传动操纵装置按不同的特征可以分为许多种类。

(一) 能量形式

1. 机械操纵装置

利用机械能完成传动操作动作的操纵装置称为机械操纵装置, 它的动力来自驾驶员。机械操纵装置又分为直接作用式和弹簧助力式。

(1) 直接作用式

直接作用式主要用于定轴式机械变速箱的换挡操纵, 可凭人力实现操纵。停车制动器的操纵也完全依赖于驾驶员的体力。

(2) 弹簧助力式

换挡操纵所需要的能量部分由辅助弹簧预先储存的能量来供给, 驾驶员只付出换挡操纵所需要的能量, 如中型坦克的主离合器操纵装置和行星转向机操纵装置。

机械式操纵装置结构简单, 工作可靠, 在第二次世界大战后仍为大多数坦克所采用, 包括苏联 T-54 坦克和中国 59 式坦克。为减小操纵力, 苏联的 T-62 坦克主离合器采用了气压助力操纵, 其 T-55 坦克转向机构采用了液压助力操纵。

2. 液压操纵装置

利用液压能来完成操纵动作的操纵装置称为液压操纵装置。液压操纵装置应用于用离合器或制动器换挡的传动系统中。俄罗斯的 T72 坦克就是采用纯液压操纵换挡的。液压操纵装置又分为非随动式和随动式。

(1) 非随动式

对于非随动式液压操纵装置,其执行机构的行程或力的大小不能相应地随控制机构的行程或力的大小而改变;一般情况下用于换挡离合器、换挡制动器和综合式液力变矩器的闭锁离合器的操纵。

(2) 随动式

对于随动式液压操纵装置,其执行机构的行程或力的大小能相应地随控制机构的行程或力的大小而改变,一般用于主离合器、停车制动器、转向制动器等装置的操纵。随动式又分为位移随动式和力随动式。位移随动式是指执行机构行程的大小能相应地随控制机构行程的大小而改变;力随动式是指执行机构力的大小能相应地随控制机构的力的大小而改变。

3. 气压操纵装置

利用高压空气来完成操纵动作的操纵装置称为气压操纵装置。一些轮式车辆制动采用气压操纵。

4. 复合式操纵装置

复合式操纵装置的操纵机构中包含有两种以上的操纵方式,如机械液压式、气液式、液式和机电液式等。

(二) 换挡操纵方法

(1) 简单换挡操纵装置

简单换挡操纵装置通常是直接作用式机械操纵,相应的变速箱称为机械变速箱。

(2) 半自动换挡操纵装置

驾驶员只需要给一个操纵件发出主控指令,操纵装置就能按照预先设定的程序和逻辑关系自动完成各项功能操作,输出力、位移、速度等信号给相应部件。这样的换挡机构称为半自动换挡操纵装置,相应的变速箱称为半自动变速箱。

(3) 自动换挡操纵装置

自动换挡操纵装置的主控指令是由操纵装置按照自身预定的逻辑和程序确定的,相应的变速箱称为自动变速箱。

自动换挡操纵是动力换挡操纵中更加完善的一种,在变速箱的升挡和降挡过程中,其挡位是自动变换(换挡),不需要驾驶员的干预。按照操纵挡位自动升挡和降挡,可以将自动换挡机构分为液压操纵自动换挡、电液操纵自动换挡、电液气操纵自动换挡。

二、操纵装置的组成

操纵装置一般由能源、控制机构、传导机构和执行机构四部分组成。

1. 能源

操纵装置的能源有两大类:一是驾驶员的体力;二是由液压泵或压气机的机械能转化成的液压能和气压能。

2. 控制机构

控制机构是操纵装置的输入机构,是驾驶员的主动操作所直接作用的零部件,如按钮、手操纵杆、手柄、拉杆、踏板、转向盘和阀门等。

3. 传导机构

传导机构是控制机构和执行机构之间的连接部分。驾驶员操作力、行程和信号直接地或经过传导机构放大转换后,传递给执行机构。传导机构主要是机械操纵装置中的杠杆、连杆和凸轮,液压操纵、气压操纵装置的油管和气管,以及其他为保证正常工作需要的泵、滤清器、配电设备、各种仪表等。

4. 执行机构

执行机构是与被操纵件直接发生作用的机构,如离合器操纵中的拉杆、油缸或气缸,机械式换挡操纵中的拨叉,行星转向机制动器操纵中的推杆等。

三、机械操纵装置

相对于其他操纵装置,机械操纵装置的优点是工作可靠、成本低廉,容易改变传导比,并且容易从一种运动形式转换为另一种运动形式(如从平移运动转换为旋转运动);缺点是体积大、质量大,作用在控制件上的操纵力较大,并且在使用摩擦元件时需要调整。

苏联坦克的操纵机构大都采用机械操纵装置(包括弹簧助力操纵),俄罗斯的T-72坦克的侧变速箱分离联动装置也是机械操纵装置,我国列装的96坦克传动操纵装置也采用机械操纵装置。

(一) 主战坦克主离合器操纵装置

该型主离合器操纵装置采用的是弹簧助力和液压助力式操纵装置。当液压系统出现故障时,弹簧助力不受影响,仍然能够辅助操纵。

1. 构造

操纵装置由空心轴、控制踏板、偏心轮、双臂杠杆、横轴、短拉杆、液压助力装置、弹簧助力装置等组成(图8-10-1)。

(1) 空心轴部分

空心轴两端用滚针轴承支撑在脚制动器踏板轴上,轴上还焊有带开口长槽的拉臂、双臂杠杆、支板、支臂和保险拉臂。

其中,拉臂通过销轴连接控制踏板;双臂杠杆的短臂与助力弹簧的钩板相连,长臂与纵拉杆相连;支板用于支撑助力油缸。

(2) 控制踏板和偏心轮

控制踏板经销轴支撑在拉臂上,踏板中部偏心轮与拉臂长槽壁之间有间隙,该间隙用来确定液压助力缸上先导阀芯的初始位置;踏板上端开口插在助力缸叉形接头的销轴上。

(3) 弹簧助力装置

弹簧助力装置利用助力弹簧拉力来减小驾驶员分离主离合器时的操纵力,它由弹簧、钩板、调整螺栓和支架等组成。弹簧一端连接着钩板,另一端固定在支架上。

(4) 液压助力装置

液压助力装置主要由活塞杆、缸体和先导阀等组成,其作用是将液压能转换成踏板轴上的机械能,以减轻驾驶员的操纵力。活塞杆上的关节轴承与车体前甲板上的助力缸支座相连,缸体后端支耳与空心轴上支板用特制螺栓相连(图8-10-2)。

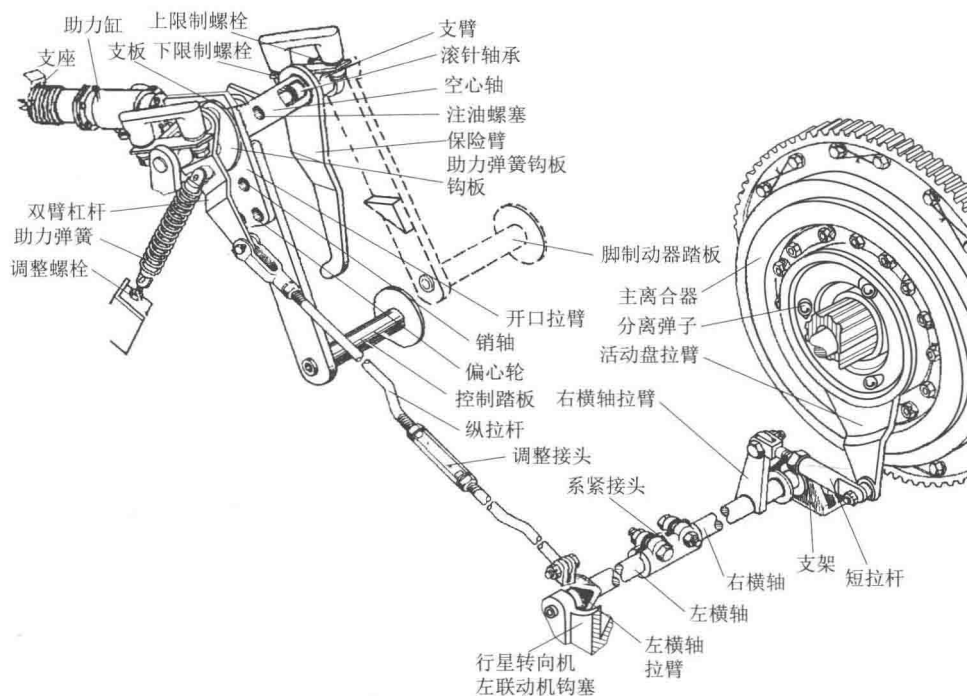


图 8-10-1 主离合器安装

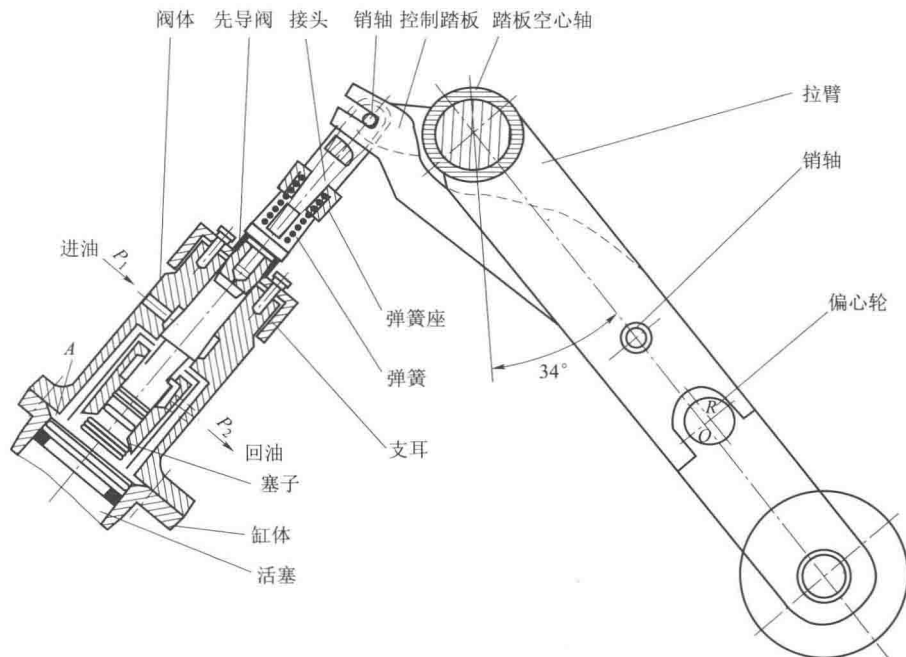


图 8-10-2 液压助力装置

(5) 纵拉杆

纵拉杆由叉形接头、前纵拉杆、调整接头、后纵拉杆和活塞式拉杆等组成。调整接头安装在前纵拉杆中部，用于在使用中调节纵拉杆的自由行程。

(6) 横轴

横轴有两根，其上各有一个拉臂，其中左横轴拉臂连接纵拉杆，右横轴拉臂连接短拉杆。

(7) 短拉杆

短拉杆一端连接右横轴拉臂，另一端通过连接销与主离合器活动盘拉臂相连。在使用操纵装置时，利用短拉杆上的调整接头可以调整拉杆的自由行程。

2. 工作原理

操纵装置处于原始位置时，主离合器处于接合状态。

(1) 分离操作

踩下主离合器踏板时，踏板将以拉臂上销轴为支点运动。叉形接头带动先导阀芯，压缩先导阀回位弹簧并将阀芯向外拉出，使进油口 P 接通，回油口 P_2 关闭，压力油流入油腔 A 中。助力缸活塞与车体相连接，因此油压将推动缸体和阀体向阀芯伸出方向移动，与缸体连接的叉形接头推动支板使空心轴顺时针转动，直到阀体将进油、回油口同时关闭，并且先导阀芯停止运动为止。缸体和阀体推动空心轴旋转的方向与驾驶员脚用力的方向一致时，产生助力作用。踏板连续运动，缸体和阀体也连续跟随阀芯运动，即可实现随动操纵。

驾驶员踩下踏板，首先消除的是偏心轮与拉臂长槽壁之间的间隙；然后，拉臂带动空心轴转动，空心轴上的双臂杠杆将带动钩板上端沿顺时针方向弧形转动，从而拉长助力弹簧，并使弹簧中心逐渐靠近空心轴心（图 8-10-3（a））。在上述阶段助力弹簧起阻力作用，但由于主离合器存在分离弹子使用自由间隙，所以驾驶员并不会感到十分费力。

当弹簧中心线刚好通过空心轴轴心（该点称为助力弹簧的“死点”）时，弹簧被拉至最长，弹簧力对操纵机构不起作用。这时主离合器分离弹子使用自由间隙刚刚消失，工作状态如图 8-10-3（b）所示。

继续踩踏板，弹簧中心线顺时针离开空心轴线。这时助力弹簧收缩，其收缩力对空心轴形成的力矩与脚踩力矩方向一致，因此起助力作用，工作状态如图 8-10-3（c）所示。

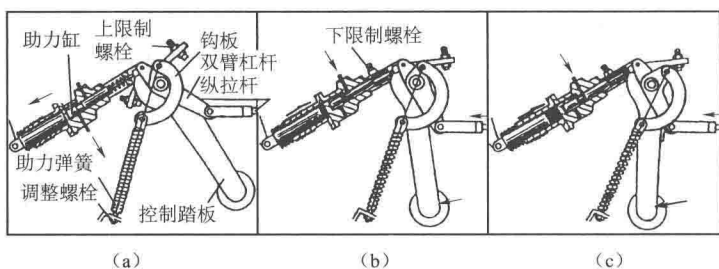


图 8-10-3 弹簧助力装置工作

空心轴的旋转带动双臂杠杆转动，从而带动纵拉杆移动，再通过左横轴的拉臂迫使左右横轴转动，通过右横轴拉臂、短拉杆带动主离合器的活动盘拉臂转动，使主离合器分离。

当液压助力装置出现故障时，弹簧助力不受影响，仍然能够辅助操纵。

(2) 结合操作

缓慢松开离合器脚踏板，操纵装置中的短拉杆、左右横轴、纵拉杆等各机件在主离合器中弹簧的作用下回原位，主离合器接合。

纵拉杆的反向移动使助力弹簧被拉长，同时助力缸先导阀芯在回位弹簧的作用下回位，使进油口关闭，回油口打开。助力弹簧伸长力和回油阻力部分抵消了主离合器内的弹簧张

力,使主离合器接合平稳。当助力弹簧中心线越过空心轴线时,助力弹簧又一次发挥助力作用,主离合器完全结合。助力弹簧使踏板继续回位,分离弹子使用自由间隙恢复,踏板回到初始位置为止。

3. 调整

主离合器使用一段时间后,摩擦片磨损变薄、分离弹子的使用间隙减小,这会造成离合器压板不能可靠地压紧主被动摩擦片,因此需要对分离弹子间隙进行调整。

(1) 纵拉杆的调整

调整纵拉杆的调整接头,释放分离弹子的备用间隙。

(2) 短拉杆的调整

调整短拉杆的调整接头,释放分离弹子的备用间隙。

(3) 改变主离合器压板与弹簧销装配位置

当通过调整纵拉杆和短拉杆已经无法达到合适的分离弹子使用间隙时,可采用改变主离合器的压板与弹簧销装配位置进行调整。

拆下启动电动机,再拆下传动箱与主离合器之间的连接齿套,接着踩下主离合器踏板,转动并使接合盘上两大孔之一对准弹簧销上螺栓,然后松开脚踏板,打开止退垫片,拧下螺栓;按上述方法依次取下 18 组垫片和螺栓后,把压板转动 10° ,将压板上另外 18 个有 1.5 mm 深的台阶孔对准弹簧销,并使弹簧销圆柱部分装入台阶孔内;最后按相反顺序装好拆下的零部件,再调节纵控杆的自由行程至规定值。

(4) 更换新摩擦片

当上述方法均调不出规定值时,就需要更换新的摩擦片。

(二) 定轴变速箱换挡操纵装置

1. 构造

某型号主战坦克定轴式变速箱如图 8-4-3 所示,操纵机构属于直接作用式机械操纵装置,由变速操纵器、前后纵拉杆、活塞式连接杆、垂直轴、横拉杆和拨叉轴拉臂等组成(图 8-10-4)。

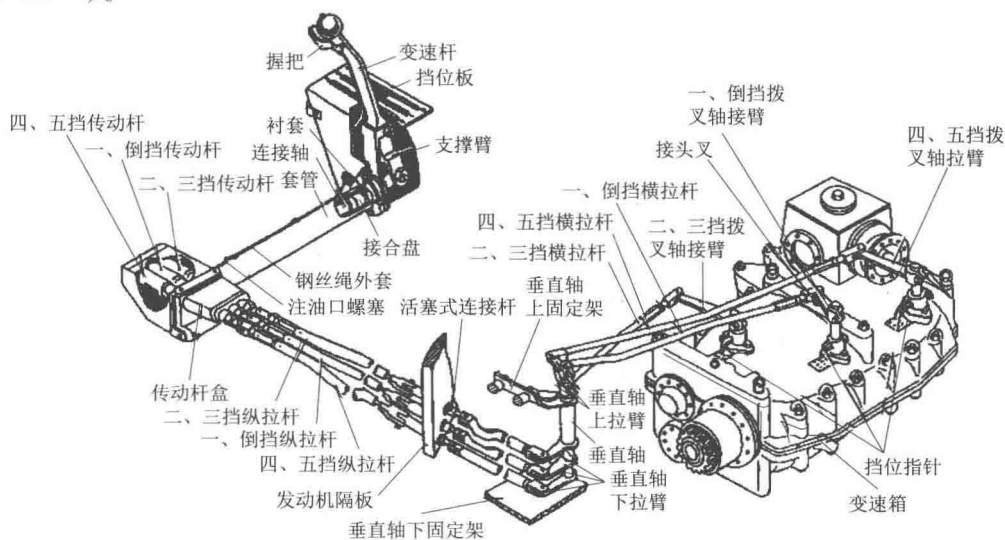


图 8-10-4 变速箱操纵装置

(1) 变速操纵器

变速操纵器安装在驾驶员座椅前方，由变速杆、挡位板、支撑臂、连接轴、套管、衬套、传动杆盒、传动杆、定位器、闭锁器和限位器等部分组成，其结构如图 8-10-5 和图 8-10-6 所示。

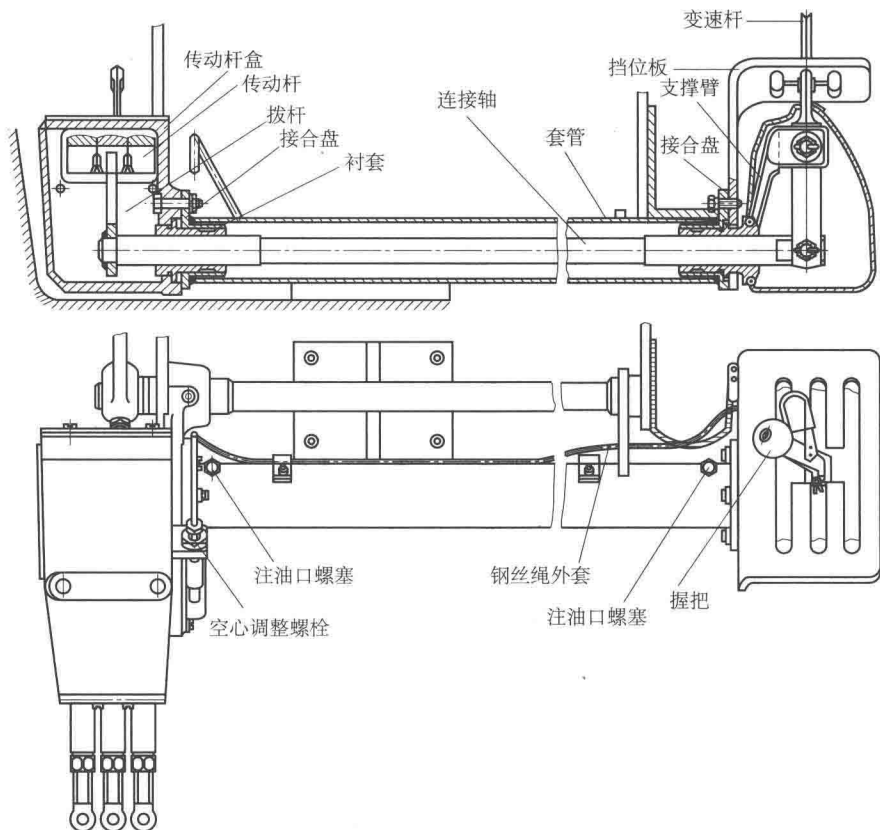


图 8-10-5 变速操纵器

变速杆位于驾驶员座椅右前侧，可在挡位板上的横槽内绕支撑臂上的销轴左右摆动，也可以在挡位板上纵槽内带动支撑臂与连接轴一起前后转动。

挡位板上加工有“王”字形换位槽，并在纵向槽的前、后端标示有挡位标记。

支撑臂上端连接变速杆，下端装入套管右端接合盘的内孔中，它只能在接合盘中转动。

连接轴安装在套管内，左端焊有拨杆，通过拨杆可以拨动某一根传动杆向前或向后移动；右端用销轴与变速杆相连，它既可以轴向移动，也可以转动。

传动杆盒固定在套管左端的接合盘上，盒内装有三根传动杆、定位器、闭锁器和限位器。

传动杆共有三根，中间为一、倒挡传动杆，左侧为四、五挡传动杆，右侧为二、三挡传动杆。三根传动杆均平行安装在传动杆盒内，后端均与前纵拉杆连接。每根杆前端下方的缺口用于换挡过程中连接轴上的拨杆左右移动与前后转动来选择挡位。每根杆下方中部有三个定位弹子梯形凹槽，从前至后，中间杆梯形凹槽依次为：中间杆为倒挡、空挡、一档，左侧杆为四挡、空挡、五挡，右侧杆为三挡、空挡、二挡。工作时定位弹子顶入其中的一个槽

内,可将其固定。每根杆中部侧边还加工有梯形限制弹子凹槽或通孔,用于安装限制器。三根杆同在空挡位置时,凹槽或通孔如图 8-10-6 所示。

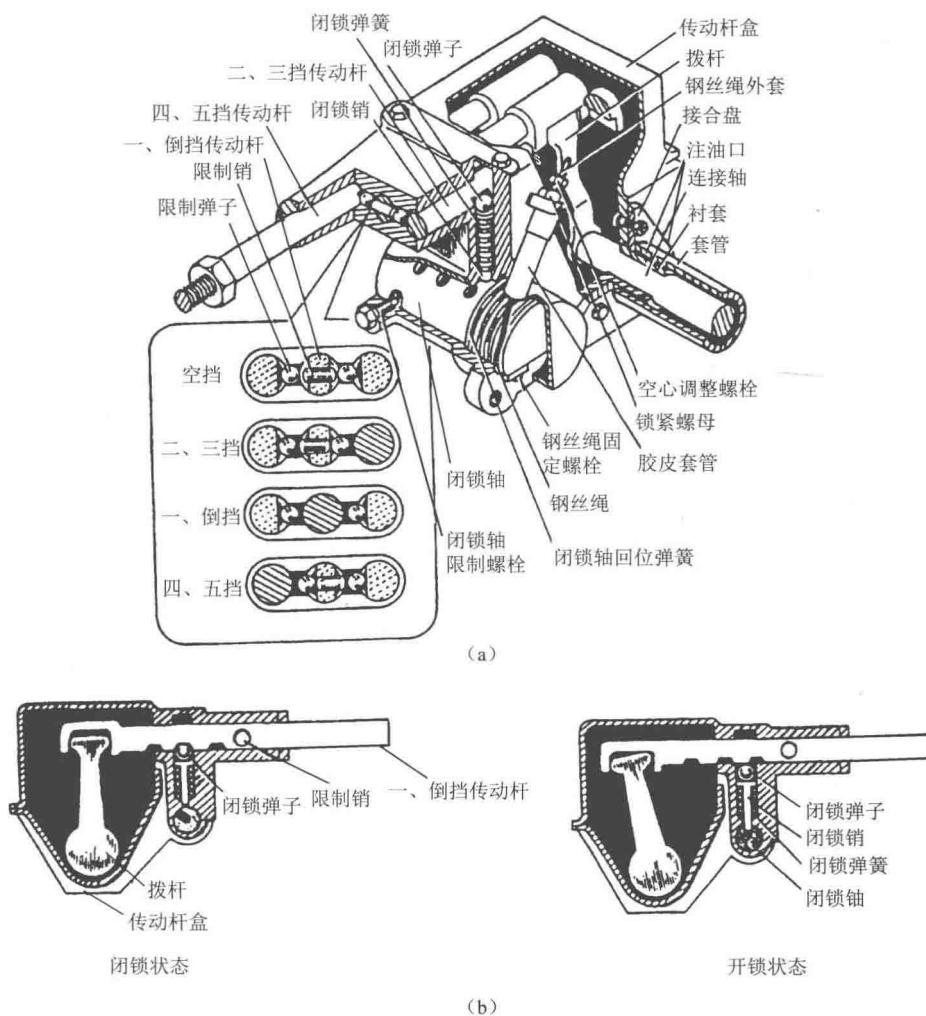


图 8-10-6 限制器和闭锁器

限位器的作用是在移动某根传动杆时,限制另外两根传动杆的移动,以防止在换挡中同时挂上两个挡而损坏机件,它由两个限位弹子和一个限位销组成。

闭锁器的作用是闭锁传动杆,防止自动挂挡和自动脱挡,它由闭锁轴、三个闭锁弹子、三个闭锁销、三个闭锁弹簧、回位弹簧、钢丝绳、调整螺栓及闭锁器握把等组成。

闭锁轴装在传动杆盒后部孔中,位于传动杆下方。轴中部的三个闭锁孔对应于传动杆盒上安装的三个闭锁销,无换挡操作时,二者径向位置互相错开而处于闭锁状态。

三组定位兼闭锁用的弹子、销、弹簧装在传动杆盒的垂直孔内。在正确挡位下,三个弹子在弹簧作用下顶在传动杆下方的梯形槽中,因此限制了传动杆的移动。

回位弹簧装在闭锁轴的外端,其作用是使闭锁轴经常保持在闭锁位置。

钢丝绳一端固定在闭锁轴上,中间用钢丝绳套支撑,另一端与闭锁器握把相连。

(2) 纵拉杆

三根纵拉杆均由前纵拉杆、活塞式连接杆和后纵拉杆三段采用叉形接头和销轴连接而成，其前端分别与三根传动杆相连，后端分别与垂直轴上的三个下拉臂相连，在前纵拉杆中还连接着调整接头。

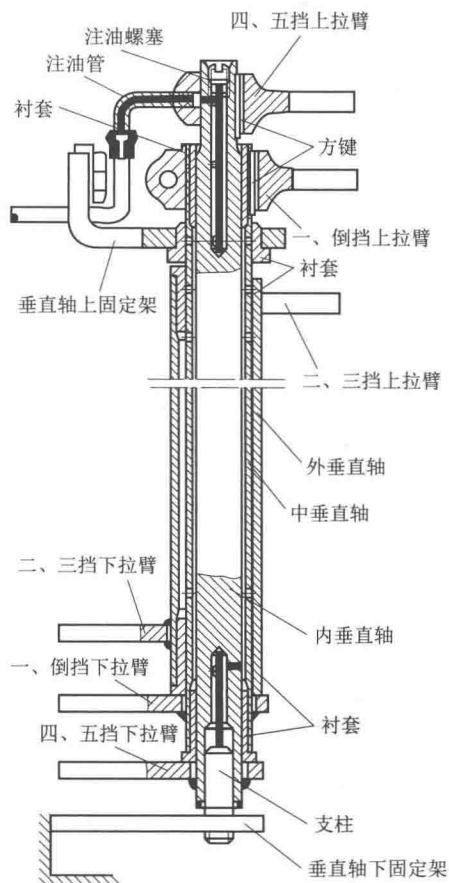


图 8-10-7 垂直轴

根传动杆中间的梯形凹槽，闭锁销的下端顶在闭锁轴表面上，闭锁器处于闭锁状态。变速箱中的换挡机构也处于中间位置。

(2) 换挡工况

驾驶员用力握紧变速杆上闭锁器握把，钢丝绳克服回位弹簧弹力后带动闭锁轴转动，使得闭锁轴上的三个闭锁孔对准闭锁销下端，此时闭锁器开锁。

变速杆开始沿挡位板上某个纵向槽移动时，通过连接轴的转动使连接轴上的拨杆拨动某根传动杆向前或向后移动。这时，传动杆下部的梯形槽斜面通过闭锁弹子压缩闭锁弹簧，把闭锁销下端压入闭锁轴上某一闭锁孔内；同时，传动杆侧面的限位弹子梯形槽也将限制弹子（或限制销）推向一侧（或两侧，挂一、倒挡时）而进入另两根传动杆限制梯形槽中，使限制弹子和限制销共同限定另两根传动杆的移动，以防止挂上双挡（图 8-10-8）。

移动的传动杆带动纵拉杆、垂直轴、横拉杆、拨叉轴拉臂、拨叉轴、拨叉和换挡机构而实现挂挡。

(3) 垂直轴

垂直轴通过上下固定架固定在左侧甲板上，其结构如图 8-10-7 所示，由内层（控制四、五挡）、中层（控制一、倒挡）、外层（控制二、三挡）三层套轴及衬套、固定键等部分组成。

每根套轴的上下端各有一个拉臂，下拉臂分别与各挡的后纵拉杆相连，上拉臂分别与各挡的横拉杆相连。由于在各层套轴间装有衬套，所以它们可以互不影响地独立转动。

(4) 横拉杆

三根横拉杆的两端分别用叉形接头连接着垂直轴的上拉臂和变速箱的拨叉轴的拉臂。横拉杆中连接的调整接头也用于调整拉杆的长度，以保证操纵时挡位的准确。

2. 工作原理

(1) 空挡工况

变速杆位于挡位板横槽中的任何位置时均为空挡工况。变速杆盒中三根传动杆位置如图 8-10-4 所示。若变速杆对准挡位板上某一纵槽位置，连接轴上的拨杆也就对正了某根传动杆上的缺口。装在三根传动杆中的限制器各零件相互位置如图 8-10-8 (a) 所示。闭锁器中的闭锁销在闭锁弹簧的作用下将闭锁弹子顶入三

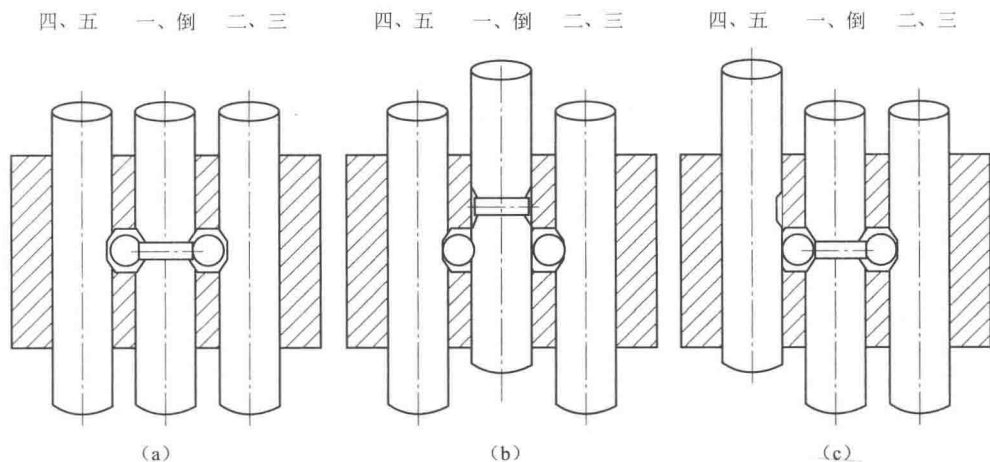


图 8-10-8 限制器状态

(a) 空挡位置; (b) 一(倒)挡位置; (c) 四(五)挡位置

挂挡完成后,闭锁弹子又对正了传动杆下部的另一梯形槽。闭锁弹簧力将闭锁销从闭锁轴上的闭锁孔中拔出,闭锁弹子重新压入梯形槽内。松开闭锁握把,闭锁轴在回位弹簧作用下回位,闭锁销下端又顶在闭锁轴表面上锁住传动杆。

(3) 退挡工况

退挡过程与挂挡过程相反:握紧闭锁器握把,闭锁器开锁,变速杆移至空挡位置;传动杆、纵拉杆、垂直轴、横拉杆等按相反的顺序返回空挡时状态;然后松开闭锁器握把。

(三) 行星转向机操纵装置

我国某主战坦克采用行星转向机转向,其二级行星转向机构如图 8-5-8 所示。该行星转向机结构上主要由一个行星排、闭锁离合器和制动器组成,采用助力式机械操纵方式,由手操纵和脚操纵装置两部分组成(图 8-10-9)。

1. 手操纵装置

(1) 构造

手操纵装置包括操纵杆、中间支架、液压助力装置、弹簧助力装置、纵拉杆和左、右联动机构。

操纵杆分为左、右两根。左操纵杆通过下端焊接的衬套支撑在变速操纵器左边的支架孔内,左操纵杆与左前纵拉杆相连;右操纵杆通过下端焊接的操纵杆轴支撑在左操纵杆衬套和变速操纵器套管的支架孔内,右操纵杆与右前纵拉杆相连。

中间支架由连接支架、轴、长拉臂、短拉臂、限制螺栓等组成(图 8-10-10)。连接支架主要用于安装液压助力装置,用螺栓固定在底甲板上。轴用螺钉拧在环套上,环套焊在支架上。长拉臂空套在轴上,轴之间有 1.5 mm 的环形间隙。长拉臂的 E 点与前拉杆相连, B 点与短拉臂相连。短拉臂通过滚针轴承支撑在轴上,并且在 C 点通过连杆与活塞连接,在 D 点与后纵拉杆相连,同时助力弹簧通过弹簧钩板也连到 D 点上。

液压助力装置用螺栓固定在车体底甲板的支座上,由拉环、调整螺母、叉形接头、连杆、销轴、先导阀、助力缸等组成。先导阀的作用是接收操纵杆传来的位移信号,然后通过阀芯去控制油路。阀芯通过叉形接头调整螺母、拉环与长拉臂凸台成铰链连接。

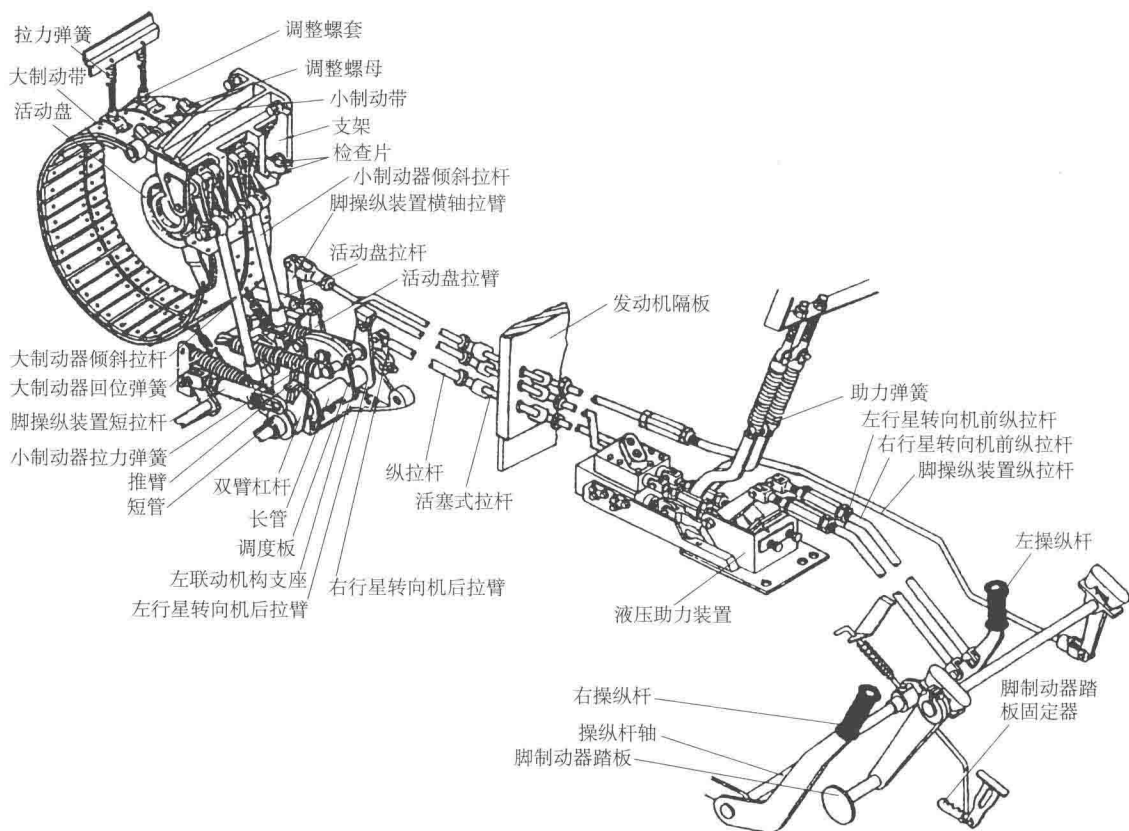


图 8-10-9 行星转向机操纵装置

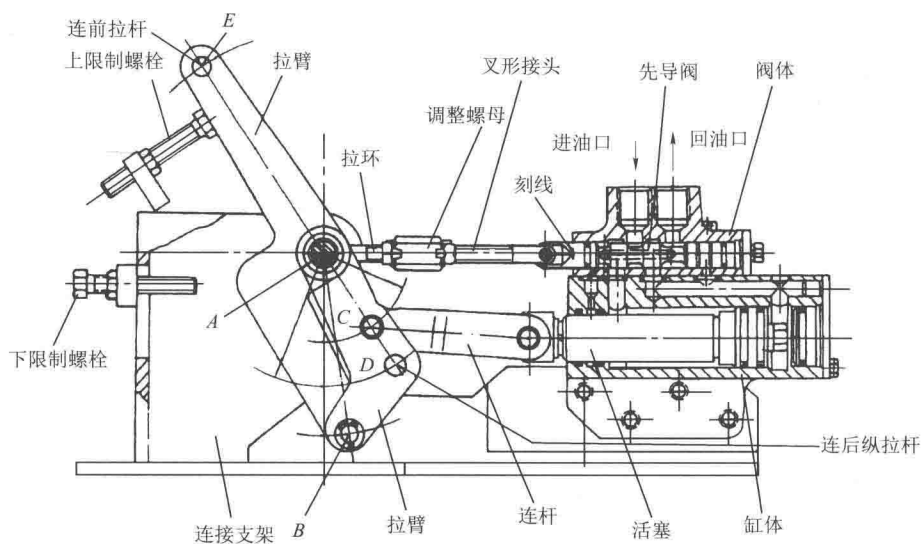


图 8-10-10 液压助力装置

液压缸的作用是将液压能转变为推动后纵拉杆的机械能，它用四个螺栓和两个定位销固定在中间支架上。液压缸活塞经连杆与短拉臂上的 C 点相连。

弹簧助力装置由助力弹簧、钩板、调整螺栓、锁紧螺母及弹簧支架等组成。助力弹簧的一端通过调整螺栓及弹簧支架固定在车体顶甲板上，另一端经钩板与短拉臂的 D 点相连。

后纵拉杆前端与中间支架短拉臂上 D 点相连，后端分别与左、右联动机构上的拉臂相连，中间装调整接头，用来调整拉杆的长度。

左联动机构由左支架、滑轮臂、滑轮杠杆、小制动器拉力弹簧、长管、左短管、左调度板和滑轮等组成（图 8-10-11）。左支架用螺栓固定在车体底甲板上。除安装左联动机构零件外，左支架还安装有主离合器操纵装置横轴和行星转向机脚操纵装置横轴。滑轮臂与带拉臂的轴用花键连接，上面装有闭锁离合器的分离滑轮。滑轮与左调度板曲面接触。滑轮臂轴上的推臂通过拉杆与行星转向机闭锁离合器活动盘拉臂连接。拉杆上的调整接头用于调整拉杆长度及弹子间隙。滑轮杠杆前端装有带滚针的滑轮，后端通过倾斜拉杆与小制动器的双臂拉杆相连。小制动器拉力弹簧的拉力始终使滑轮压在调度板上。长管上焊有拉臂、左调度板和推臂，拉臂与后纵拉杆相连；扇形的左调度板的弧面上有两个不等半径和一个等半径的工作曲面，用于操纵闭锁离合器和小制动器；推臂则用于在左操纵杆由第一位置拉至第二位置的过程中，带动左短管向前旋转以使大制动带工作。左短管上焊着双臂拉杆和拉臂，双臂杠杆的长臂通过倾斜拉杆与大制动带的双臂杠杆相连；短臂则由推臂推动而使短管转动。拉臂与脚操纵装置短拉杆相连，其上还挂有回位弹簧。

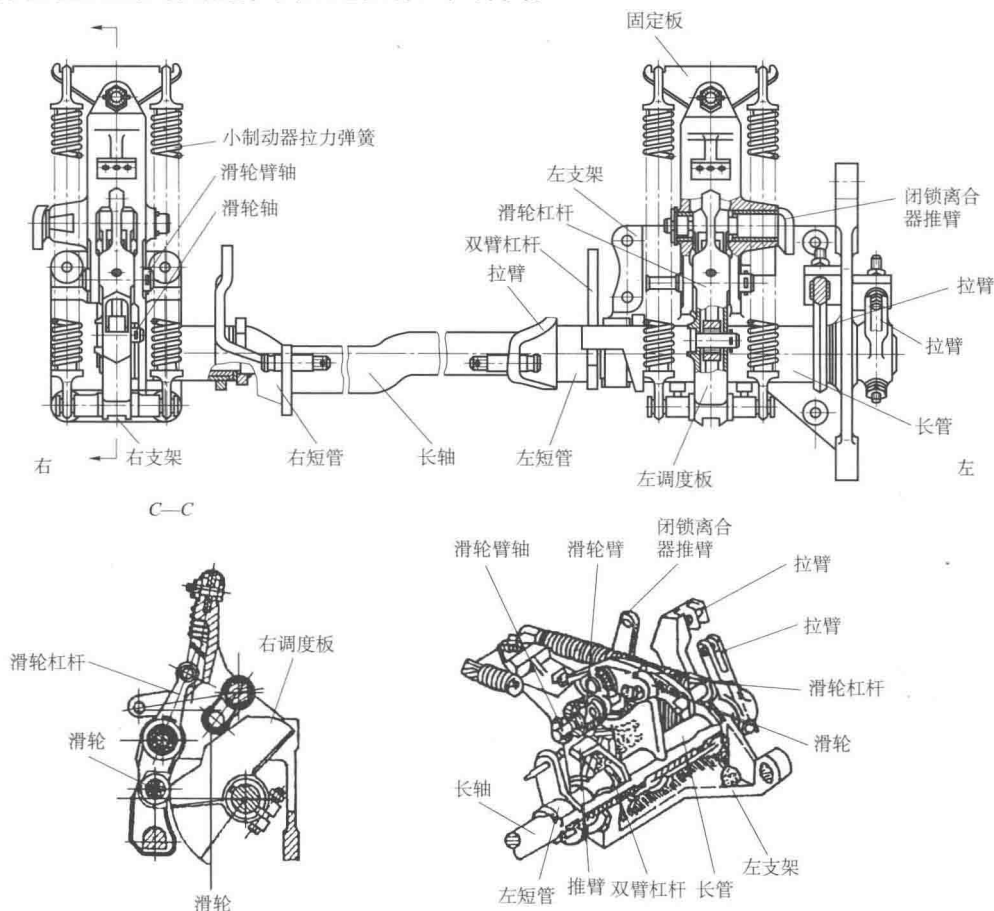


图 8-10-11 左、右联动机构

右联动机构与左联动机构类似,不同之处是右联动机构用右长轴代替长管,短管上无拉臂、右支架上无限制螺栓。

(2) 工作原理

1) 原始位置

液压助力操纵杆在最前的原始位置,这时的行星转向机闭锁离合器结合,大、小制动带松开。操纵机构的各件位置如图 8-10-12 所示。

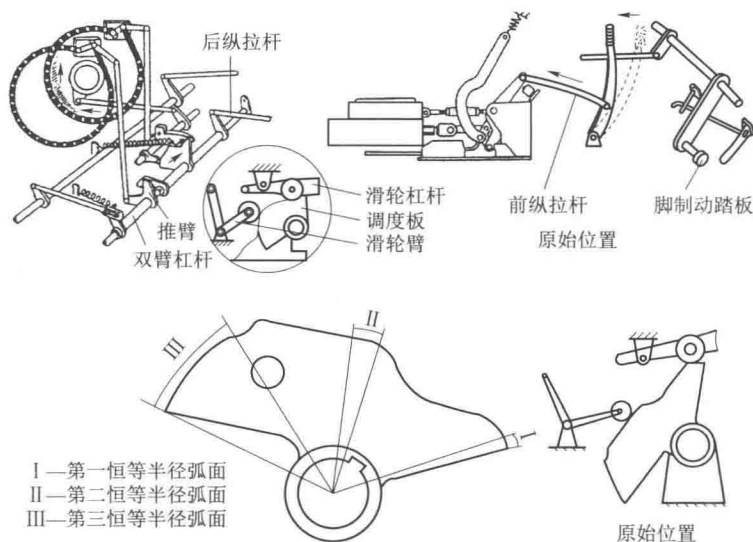


图 8-10-12 手操纵装置在原始位置

助力弹簧的作用线在长、短拉臂轴线的后方。在助力弹簧的作用下,短拉臂上的连接销带动长拉臂,使操纵杆保持在最前端位置。

闭锁离合器滑轮臂上的分离滑轮与调度板中部凹槽接触,活动盘位于最前位置,使闭锁离合器中的分离弹子处于深槽,闭锁离合器接合。

小制动器滑轮杠杆上的滑轮在拉力弹簧的作用下处于调度板第一半径弧面上,滑轮杠杆后端处在最下位置,小制动带松开。

短管上的双臂杠杆在回位弹簧的作用下处于最后位置,同时与推臂保持 $28^{\circ} \sim 29^{\circ}$ 夹角的间隙,大制动带也处于松开状态。

行星转向机此时处于直接传动状态。

2) 第一位置

操纵杆拉至第一位置,这时行星转向机闭锁离合器分离,小制动器制动,大制动带松开,如图 8-10-13 所示。

当驾驶员向后拉操纵杆时,前纵拉杆前移,带动长拉臂的 E 点向右转动(图 8-10-10)。这时,拉臂将以 B 点为支点做顺时针转动,通过拉环推动先导阀芯向右运动,使系统中的压力油通过先导阀进入助力油缸的右腔,推动活塞向左运动,并通过短拉臂上 C 点推动长、短拉臂结合 B 点向左摆动,后纵拉杆则向前移动,通过长管和右长轴上拉臂带动调度板向前转动。

当操纵杆停止移动, E 点也处于静止状态,但压力油将继续向左推动活塞使 B 点绕 E 点转动,同时也带动拉环及先导阀回到原始的平衡位置,并切断进油路使先导阀关闭。这种通

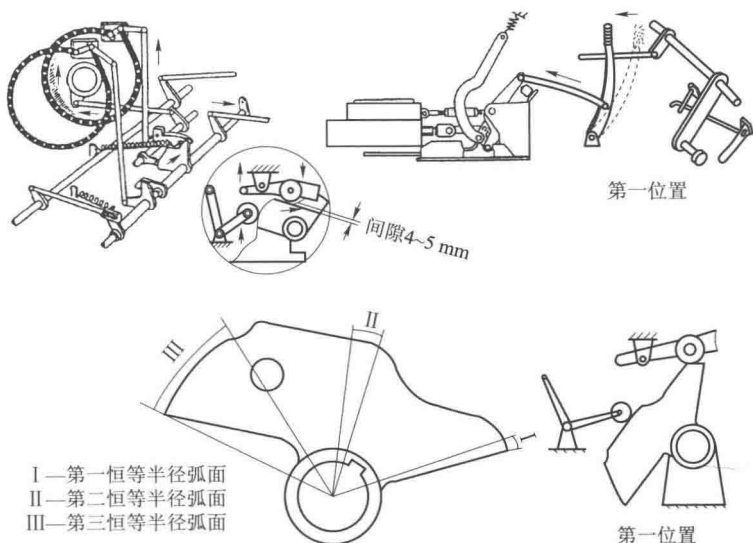


图 8-10-13 手操纵装置在第一位置

过拉环控制先导阀芯运动的方式就称为位移反馈。

弹簧助力装置的工作原理同离合器中的弹簧助力一样。

调度板转动时，由于与闭锁离合器滑轮接触处曲面半径逐渐增大，调度板顶起滑轮，迫使轴及推臂向后转动，使离合器分离。当轴上的拉臂滑轮进入调度板半径较大曲面定位槽中时，闭锁离合器完全分离。

在调度板向前转动的同时，调度板与小制动器滑轮杠杆滑轮处的曲面半径逐渐减小。在小制动器拉力弹簧的作用下，滑轮杠杆前端逐渐向下，后端倾斜拉杆带动小制动器双臂杠杆向上，使小制动带逐渐制动小制动鼓，小制动鼓到第一位置时被完全制动。滑轮与调度板凹槽之间的间隙用来可靠拉紧小制动带。

这时，由于左长管或右长轴上的推臂刚与短管上的双臂杠杆接触，短管也未转动，因此大制动带处于松离状态。

当驾驶员从第二位置或第一位置推回操纵杆时，长拉臂将以下端 B 点为支点转动，通过拉环带动先导阀芯向左移动，使压力油通过先导阀进入助力油缸左腔，推动活塞向右运动，并通过短拉臂上 D 点带动后纵拉杆移动而实现操纵助力。但由于活塞有杆腔作用面积小，因此回程助力小些。

若液压助力装置出现故障而失效，长拉臂与轴之间的 1.5 mm 间隙将失去作用，但仍可以通过弹簧助力装置实现助力操纵。

3) 第二位置

操纵杆拉至第二位置，行星转向机闭锁离合器分离，小制动带松开，大制动带制动，如图 8-10-14 所示。

驾驶员连续拉操纵杆，调度板继续向前转动，液压助力和弹簧助力装置仍起助力作用。闭锁离合器分离，滑轮在调度板等半径的曲面上滚动，闭锁离合器仍然保持分离状态。

在调度板转动的同时，小制动器滑轮杠杆上的滑轮在调度板半径逐渐增大的曲面滚动，将滑轮杠杆前端顶起，杠杆后端带动倾斜拉杆向下，使小制动带松开小制动鼓。

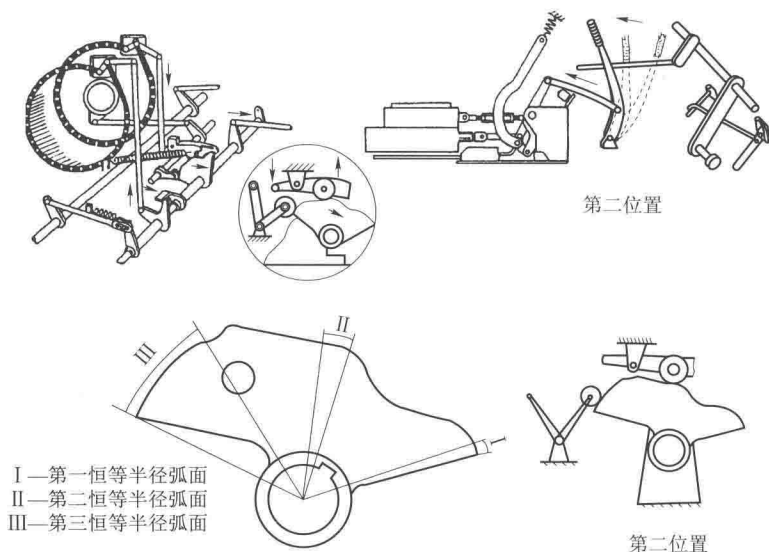


图 8-10-14 手操纵装置在第二位置

在调度板从第一位置向第二位置转动时，左长管和右长轴上的推臂推动短管上双臂杠杆，使短管向前转动，通过倾斜拉杆和制动器上双臂拉杆使大制动带逐渐制动大制动鼓。大制动器制动后，短管就不再转动，操纵杆被定位于第二位置。短管转动时，拉臂上的销子可在脚操纵装置推杆滑槽内移动，所以手操作时不会带动脚操纵装置工作。

2. 脚操纵装置

(1) 构造

脚操纵装置用于操纵行星转向机大制动器，主要由踏板、踏板轴、纵拉杆、横轴、短拉杆和踏板固定器组成。

纵拉杆由前拉杆、活塞式拉杆、后纵拉杆和叉形接头连接而成。纵拉杆前端与踏板轴上的拉臂相连，后端与制动器横轴上的拉臂相连。在前纵拉杆中间装有用来调整拉杆长短的调整接头。

横轴上焊着三个拉臂，左拉臂与纵拉杆相连，另外两个分别与两根推杆相连。左、右两根推杆前端有滑槽与短拉臂上的销子相连，后端与横轴短拉臂相连。

(2) 工作原理

脚操纵装置的工作如图 8-10-15 所示。踏下脚制动器踏板，纵拉杆、拉臂、脚制动器横轴及拉臂、短拉杆使左、右短管同时向前转动，短管上双臂杠杆通过倾斜拉臂使两侧大制动带同时制动大制动鼓。如需长时间制动，可用固定器将踏板固定。

松开脚制动踏板时，各个机件在回位弹簧的作用下恢复原位。

踏下脚制动器踏板时，短管上双臂杠杆的短臂朝着离开推臂的方向转动，所以脚操纵装置不与手操纵装置联动。

(四) 某轮式装甲车的转向操纵装置

轮式装甲车辆一般是多轮驱动、多轮转向，其转向是通过转向机在路面上偏转一定角度来实现的。由驾驶员操纵、用来使转向轮偏转的一整套机构称为轮式装甲车的转向系。

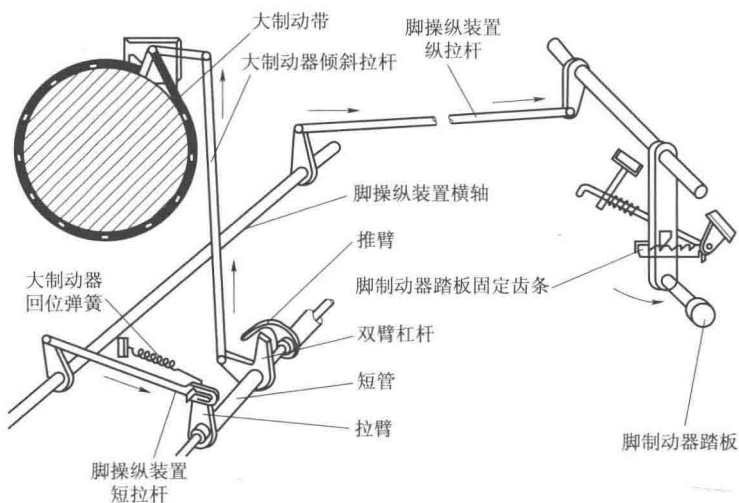


图 8-10-15 脚制动操纵装置

某轮式装甲车是6×6 驱动，通过转向机控制前轮和中轮进行转向（图 8-10-16）。该轮式装甲车转向操纵装置采用整体式动力转向器，主要由转向盘、万向传动轴、齿轮箱、动力转向器（包括控制阀、动力缸和转向器）、转向油罐、转向油泵、转向杆和转向传动机构等组成（图 8-10-17）。

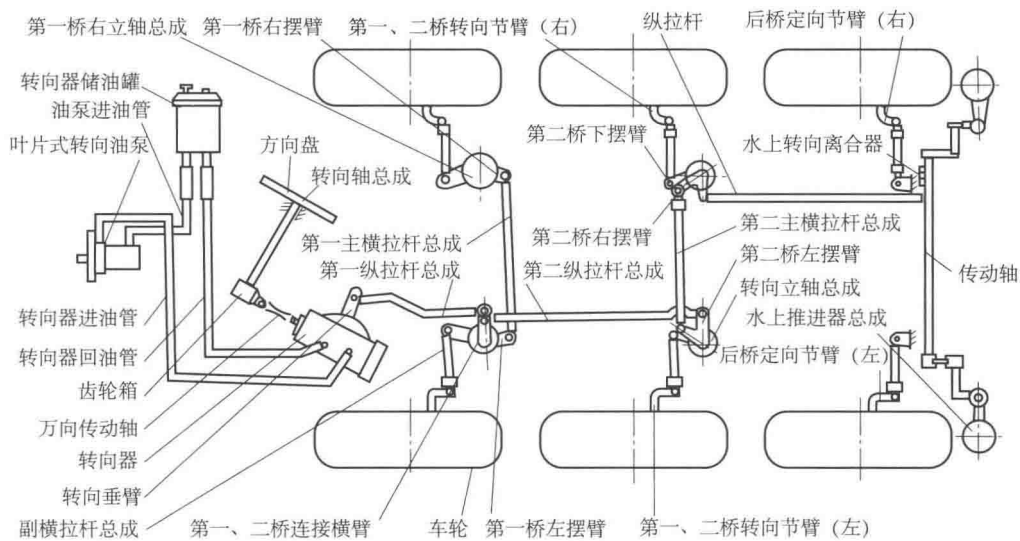


图 8-10-16 轮式转向系

1. 转向盘、转向轴与齿轮箱

转向盘由轮缘、轮毂和轮辐组成（图 8-10-17），并通过轮毂上的内花键与转向轴的上端连接。

转向轴总成由转向筒总成、支承套总成、转向轴、垫圈、套圈、轴承、橡胶套和挡圈等组成（图 8-10-18）。转向轴为细长实心钢轴，其两端带花键。转向轴一端与转向盘连接并用螺母紧固，另一端通过带内花键的夹紧套与齿轮箱的齿轮轴连接为一体，用于传递转向盘的旋转运动给齿轮箱。

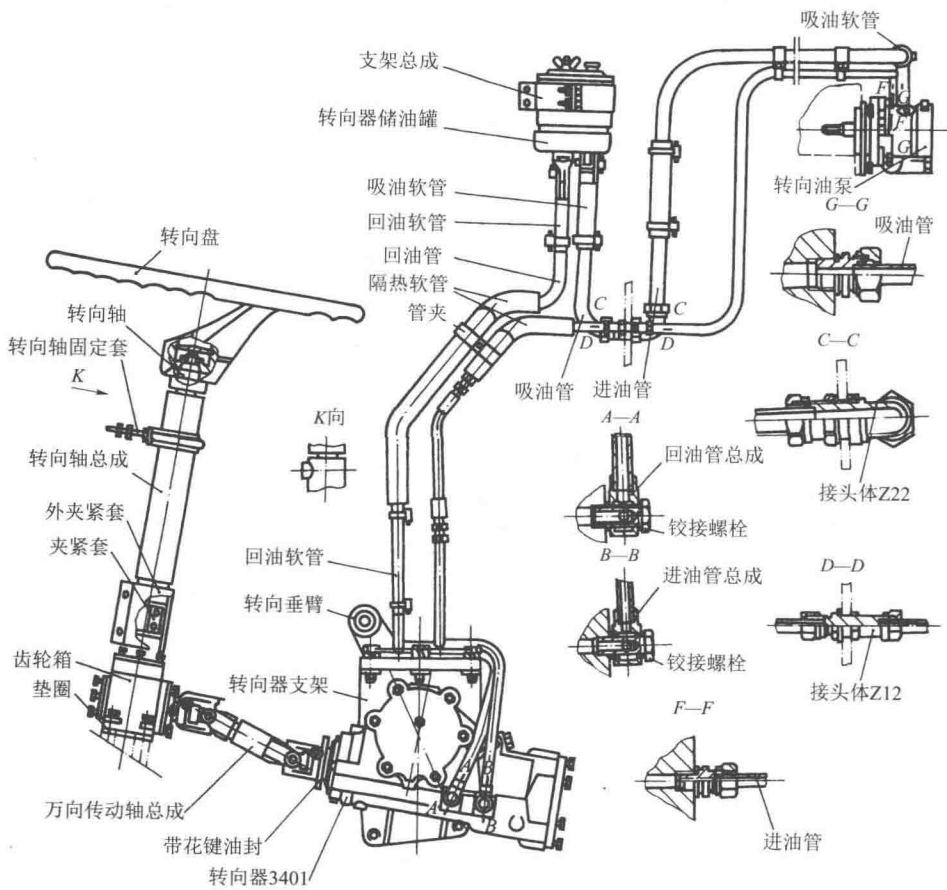


图 8-10-17 转向盘及动力转向器总成

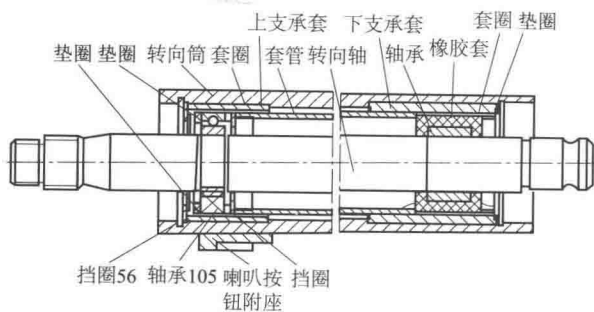


图 8-10-18 转向轴总成

齿轮箱的功用是传递力矩并改变方向。齿轮箱里有一对直角传动的直齿锥齿轮，其传动比为 1。

齿轮箱由花键轴总成、齿轮轴总成、箱体、齿轮、滚锥轴承、轴承透盖、轴承闷盖、套筒、加油螺塞、放油螺塞等组成(图 8-10-19)。

万向关节总成(图8-10-20)用于齿轮箱和转向器之间运动零件的连接和力的传递,以及补偿前、后传动

轴的不同心。

万向关节总成包括两个普通万向节，两个普通万向节由花键筒、花键轴和螺栓等机件组成。图 8-10-21 所示为花键轴结构，图 8-10-22 所示为花键套结构。

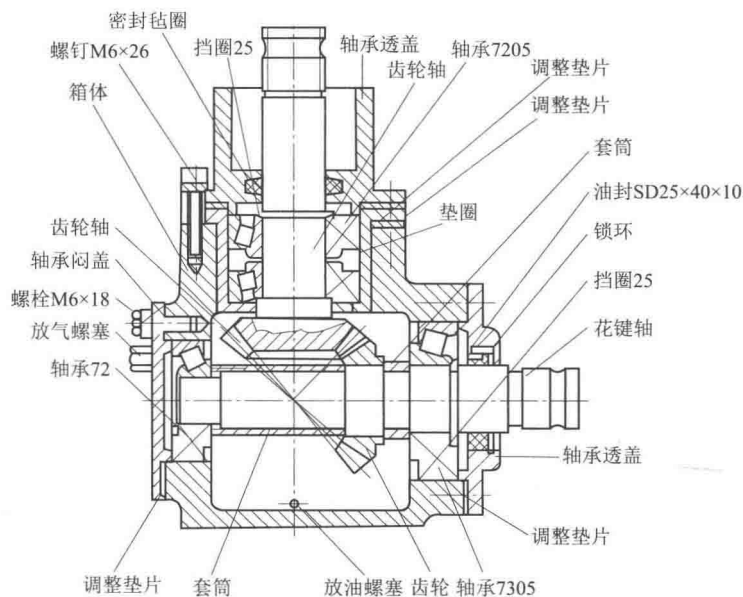


图 8-10-19 齿轮箱

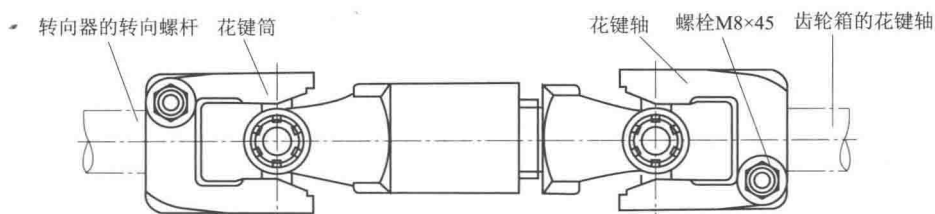


图 8-10-20 万向关节总成

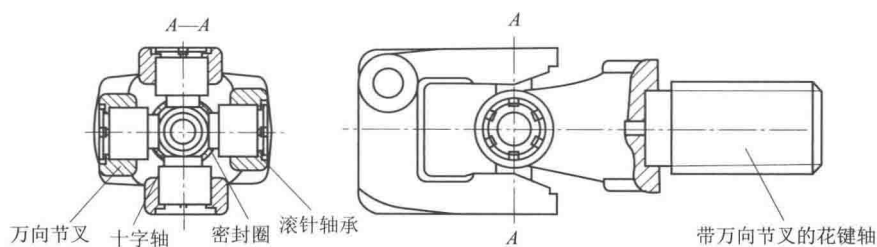


图 8-10-21 花键轴

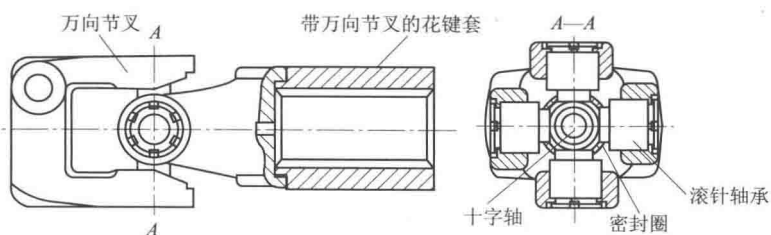


图 8-10-22 花键套

2. 动力转向器

转向器的功用是将转向盘的转动变为转向垂臂的摆动，把驾驶员要施加于转向盘上的力，通过转向器传给转向传动机构，同时，通过一定的传动减小需要施加于转向盘上的力并改变力的传递方向，使操纵轻便、转向灵敏。

(1) 构造

该 6×6 轮式装甲车为前、中轮转向,采用整体式动力转向器,将液压助力装置与循环球-齿条齿扇式转向器制成一体。结构上该轮式装甲车由转向器、动力缸、分配阀和液压转向限制阀等组成。

1) 循环球式转向器

循环球-齿条齿扇式转向器由壳体、螺杆-钢球-螺母传动副、齿条-齿扇传动副、转向垂臂轴及转向轴等机件组成(图 8-10-23), 该转向器的角传动比为 21:78。

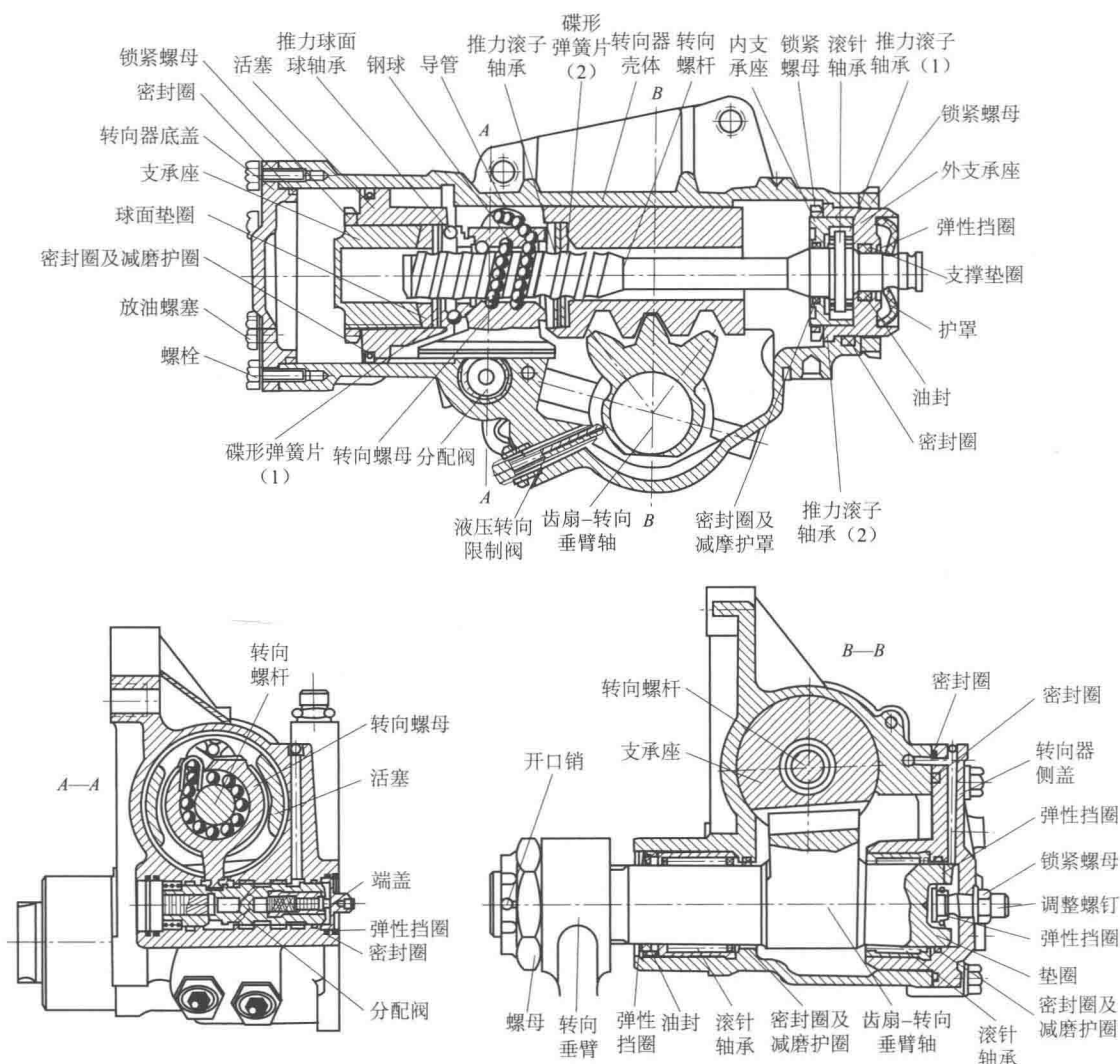


图 8-10-23 动力转向器

转向螺杆借助其上部的凸肩,通过两个推力滚子轴承(1)、(2)和一个无内圈的滚针轴承支承于内、外支承座的相应座孔内。转向螺杆轴的左端制有左旋螺旋槽。

转向螺母插入动力缸活塞中段的方形孔内,其上端(即图示的右端)通过推力滚子轴承轴向支承于活塞的相应凹座内,其间装有两片碟形弹簧片(2);其下端通过推力球面球轴承及球面垫圈轴向支承于支承座的端面,其间也装有两片碟形弹簧片(1)。这种轴向弹性支承利于缓和路面经转向轮传至转向器以及液压助力装置控制元件的冲击。

转向螺母的内面制有左旋螺旋槽。转向螺杆与螺母的内、外螺旋槽构成的螺旋形通道内,放置了29颗直径为9 mm的钢球。外导管将两圈螺旋槽的首尾端沟通成一条封闭的螺旋形通道,使钢球实现外循环。

等厚齿条与动力缸活塞制成一体,变齿厚齿扇与转向垂臂轴制成一体。转向垂臂轴通过其端部带锥度的三角形键齿与转向垂臂连接,并用螺母、开口销等紧固锁止。在齿条齿扇传动副工作时,齿条的纵向剖面呈倾斜状。

循环球式转向器螺杆-钢球-螺母传动副的传动间隙是无法调整的,当它超过磨损极限(以相对转动时的摩擦力矩来计量)时,应更换传动副整套零件。

2) 动力缸

该6×6轮式装甲车采用整体式转向系统,动力缸与转向器组成一体(图8-10-24)。

动力缸活塞与转向器的齿条制成一体,以其右段的圆柱部分表面作为导向面,并与缸筒(即转向器壳体的右段内孔)的导向孔部分滑动配合。活塞中段的方形孔内经推力轴承及碟形弹簧片等机件弹性地支承着转向螺母。转向螺母的控制导板受缸筒纵向切槽的宽度所限制,因此,该转向螺母只能绕活塞轴线做小角度的摆动;又由于碟形弹簧片的作用,转向螺母可沿该轴线相对于活塞做少量的游动。活塞的左段制有环肩,活塞以环肩的外圆柱面与缸筒的工作段内孔(即转向器壳体的左段内孔,经过特殊加工)滑动配合。密封圈及减磨护圈将缸筒内腔分成左、右两腔室,其中左腔室经缸筒左端侧壁上的油孔和缸筒壁内的钻孔与分配阀相通;右腔室有两条路径可与分配阀相通,其中一条通过缸筒的纵向切槽(转向螺母控制导板所贯穿的切槽),另外一条则经缸筒右端侧壁上的油孔和缸筒壁内的钻孔。

动力转向器工作时,由转向螺杆经钢球传给转向螺母的轴向推力以及动力缸的液压作用都须经活塞传给齿条齿扇传动副。

3) 分配阀

动力转向系统的滑阀式分配阀和转向器组合在一起(图8-10-23),它由转向螺母的控制导板来操纵。

转向分配阀由阀体、滑阀、反作用柱塞组及单向阀等机件组成(图8-10-24)。

分配阀体与动力转向器的壳体制成一体,阀体内孔表面开有六条环形油槽,其中第三环槽经阀体内部油道f及连接油管与转向油泵的出口相通,它是动力转向器的进油通路;第一、四(主回油环槽)、六环槽经转向器壳体内部油道b、e和连接油管与转向储油罐相通,它们是动力转向器的回油通路;第二、五环槽分别经转向油泵的出油道a、d与动力缸上腔室(即图8-10-23所示的右腔室)相通;位于阀体第四环肩上的油道c与动力缸下腔室相通。

转向螺母的控制导板通过其端部的圆柱表面与滑阀的拨动环槽(即图示的第一环槽)相配合,来操纵滑阀总成轴向移动。

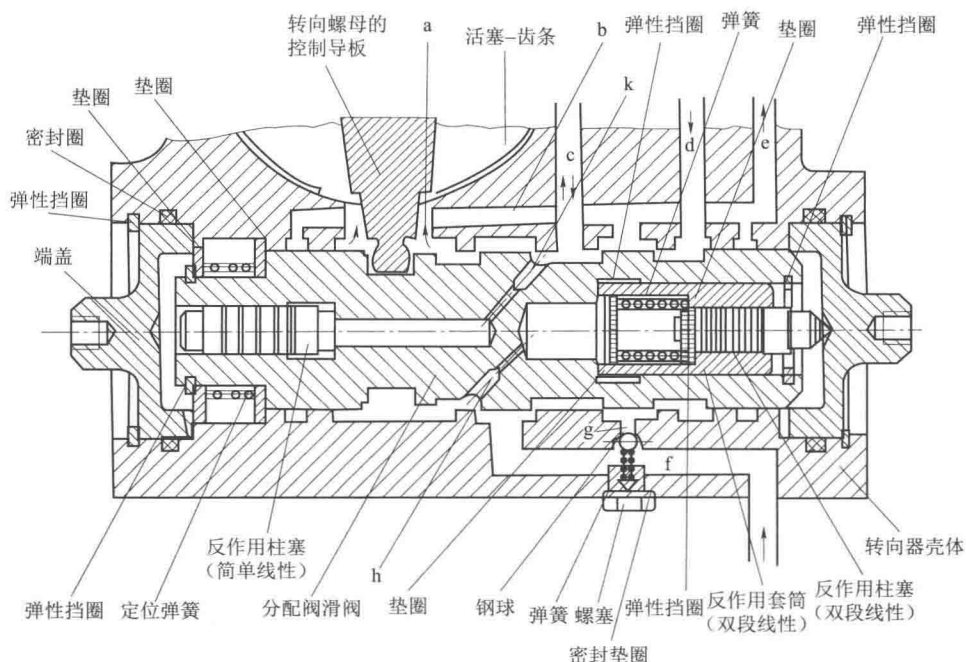


图 8-10-24 动力转向器分配阀

a—通动力缸上腔的油道（即转向螺母控制导板所贯穿的壳体纵向切槽）；b—连通油道（主轴道）；
c—动力缸下腔室的油道；d—动力缸上腔室的回油道；e—回油道；f—进油道；
g—进、回油道之间的连通油道；h—通反应腔的油道；k—通反应腔的油道

在滑阀的外圆柱表面上还切有三条环槽，形成两条控制环肩。这两条控制环肩分别与阀体上的进油环槽和主回油环槽相对，形成四条油液的环形通道。

定位弹簧的作用是在车辆直线行驶时，使滑阀保持在中间位置，保证转向轮自动回正作用正常发挥；在车辆转向后，使滑阀回复至中间位置。

滑阀的两端钻有两个互不相通的轴向阶梯孔，孔内各插有一反作用柱塞组，反作用柱塞的背腔经节流孔 h、k 分别与滑阀的第三或第二环槽相通，形成反映路感大小的反应腔。车上所装的 LS7F 型动力转向器，其反作用柱塞组有如图 8-10-24 左侧和右侧部分所示的两种结构（为便于比较，这两种结构表示在同一图上）。

反向柱塞的作用是反映转向轮转向阻力的变化情况，使驾驶员感受到明显转向。在转向轮转向阻力较小时，助力作用所占的比例较小，使驾驶员具有较精确的转向感觉，车辆在“中间位置”附近以小角度转向时，即属此范围；当转向轮转向阻力较大时，反向柱塞使助力作用所占的比例增大，而驾驶员在转向盘上所加的手力又不至于增加过大。这种反作用柱塞组一般应用于转向轮转向阻力变化范围较大的动力转向器上。

转向分配阀的单向阀的作用是：在动力转向系统正常工作时，在弹簧的作用下，单向阀将分配阀阀体上的进、回油环槽之间的通道截断；在转向油泵失效的情况下转向时，单向阀钢球及弹簧在进、回油槽之间的压差作用被推离阀座，经油道 g、f 使进、回油槽沟通。

4) 液压转向限制阀

液压转向限制阀的作用在于当转向轮转至极限位置时,将动力缸两腔室沟通,使动力转向器、转向传动机构以及转向油泵卸载,以保护整个转向系统。

液压转向限制阀共两个,分别控制在左、右两个转向极限位置时动力转向系统的卸载。该两阀位于动力转向器的中下部(图 8-10-23),其轴线与转向垂臂轴轴线相垂直,由转向垂臂轴轴颈上相应的两段凸轮弧面来操纵。为了使两阀能单独受控制,它们的柱塞与控制凸轮的接触点没有处于凸轮弧面的同一径向位置上。

液压转向限制阀的结构如图 8-10-25 所示,主要由柱塞、套筒、弹簧、螺套及密封圈(1)、(2)等机件组成。

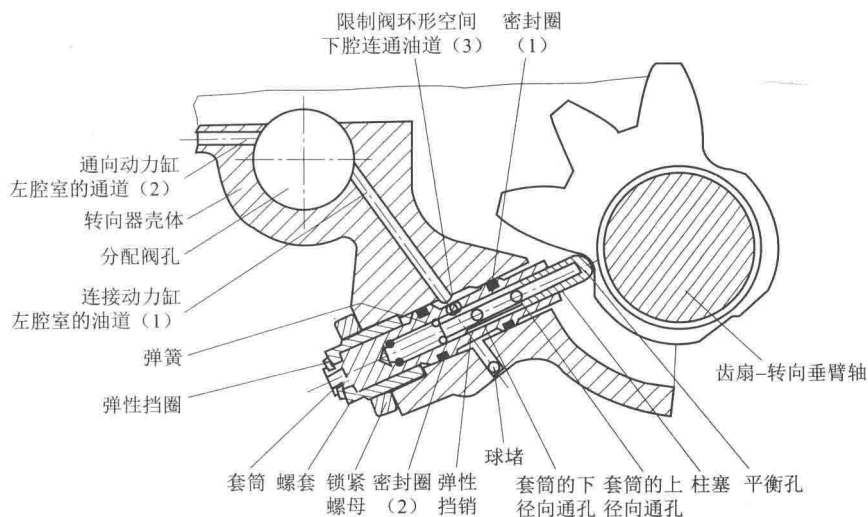


图 8-10-25 液压转向限制阀

液压转向限制阀套筒以其两定位环肩与转向器壳体上的相应阀孔滑配合,通过密封圈(1)、(2)将套筒与阀孔之间的环形空间分成上、下两腔(即图示的右、左两腔)。上腔与动力缸上腔室(即图示齿扇所处的右腔)直接相通,下腔经油道(1)、(2)和分配阀滑阀上的相应环槽与动力缸下腔(即图示的左腔)相通。两阀孔的环形空间由转向器壳体壁内的连通油道(3)互相沟通。

当柱塞的端部位于控制凸轮的圆弧面上时,液压转向限制阀不工作,柱塞的圆柱面将套的上径向孔封闭,使套筒与阀孔之间的环形空间上、下腔互相隔开;当柱塞的端部位于控制凸轮的弧面高度下降区段时,转向限制阀工作,柱塞上移,使套筒上的上径向通孔逐渐开放,从而使套筒与阀孔之间的环形空间上、下腔经套筒上径向通孔、柱塞环槽及套筒上的下径向孔 14 互相沟通。通道截面的大小决定了油压卸载的程度,而该截面大小由柱塞上轴肩相对于套筒的上移量来决定,这相对上移量又与套筒在阀孔内的轴向位置和转向的角度有关。

(2) 整体式转向器工作原理

1) 直线行驶时

当车辆直线行驶时,定位弹簧使滑阀保持在中间位置。阀体上的进、回油环槽与滑阀 5

的两控制环肩之间保持对称位置，其间的各环形通道截面保持相等。转向油泵 1 输送来的油液自进油口进入阀体的进油环槽（第三环槽），再进入阀体的主回油环槽（第四环槽），然后经转向器壳体壁内的油道由出油口流回转向储油罐（图 8-10-26）。此时，动力缸的两腔室以及阀体的进、回油环槽之间都互相串通，油泵负荷很小，动力缸活塞也无液压力输出。

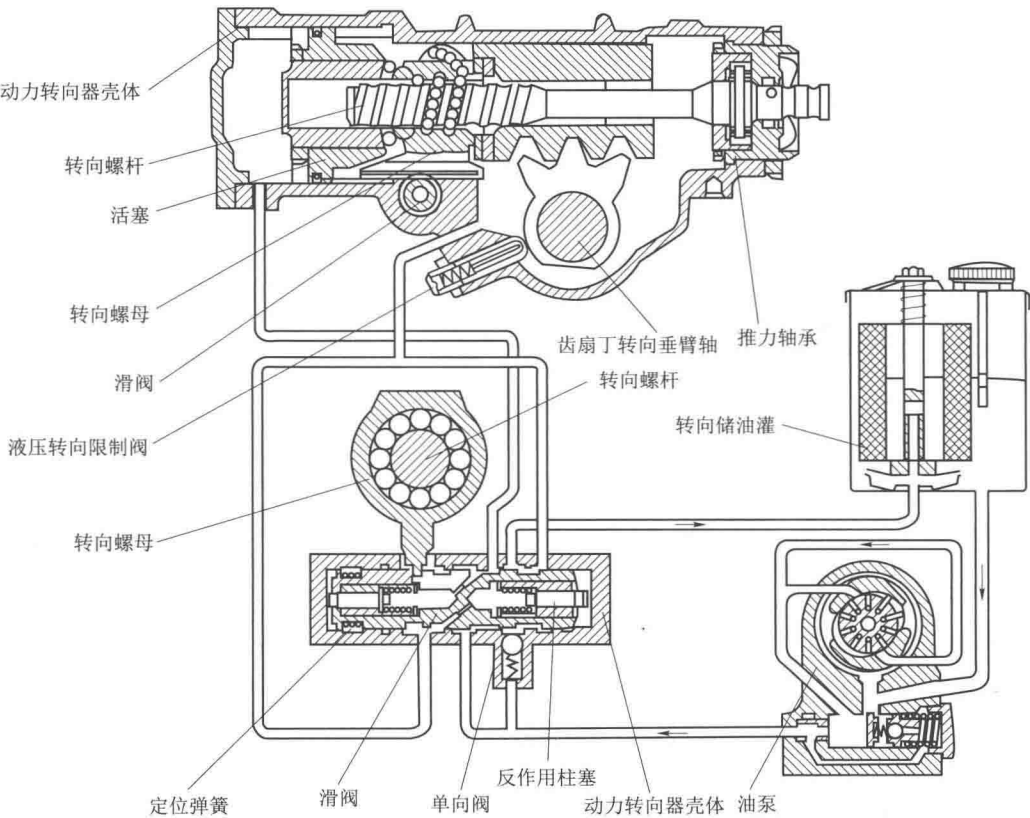


图 8-10-26 整体式动力转向系统的工作原理示意

在直线行驶过程中，地面对转向轮的冲击通过传动机构传到转向器的齿条齿扇传动副，经转向螺母与活塞之间的碟形弹簧片后减轻，再通过动力缸内油液的阻尼作用后不足以克服滑阀定位弹簧的预紧张力，而仅能使转向螺杆发生相应的旋转，滑阀仍保持中间位置。此时，液压助力装置不参加工作，转向轮则依靠转向轮定位角的作用自动回正，从而保持车辆直线行驶的稳定性。

2) 转向行驶时

① 正常转向行驶。

a. 向右转动转向盘。

驾驶员向右转动转向盘时（图 8-10-27），转向螺杆作用的逆时针方向（即图示的左端进行观察）的操纵力矩，经“螺杆—钢球—螺母”传动副作用于转向螺母。由于分配阀的滑阀处于中间位置，液压助力装置不起作用，仅有转向螺母的轴向推力经齿条齿扇传动副传至转向传动机构，这远不足以克服转向轮的转向阻力，因此活塞将保持不动；在转向螺杆上

施加适量的操纵力矩后，转向螺母克服滑阀定位弹簧不大的预紧张力，随同螺杆绕其轴线向逆时针方向转动（自动转向器的下端进行观察，以下类同），使滑阀向右轴向移动。与此同时，转向螺母还沿螺杆向左做少量的移动，使左侧碟形弹簧进一步变形。

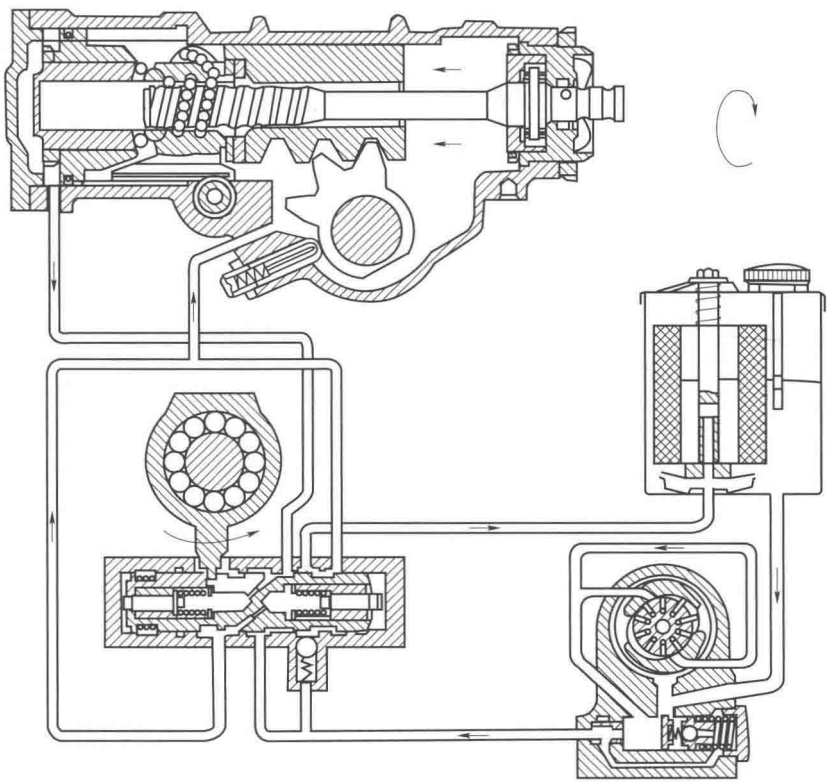


图 8-10-27 向右转向时，整体式动力转向系统的工作原理示意

当滑阀向右的轴向移动量等于其控制环肩与阀体进、回油环槽之间的轴向间隙时，阀体的进油环槽与滑阀第三环槽、阀体主回油环槽与滑阀第四环槽之间的环形通道被封闭；而阀体进油环槽与滑阀第二环槽、阀体主回油环槽与滑阀第三环槽之间的环形通道截面相应增大。来自转向油泵的油液按图示通路进入动力转向器的右腔室，油压升高；动力转向器的左腔室按图示通路与转向储油罐相通，油压降低。活塞在左、右腔压差作用下，经齿条施力于齿扇，当该力足以克服转向轮的转向阻力时，齿扇及转向垂臂轴即向逆时针方向转动，转向轮相应向右偏转。此时，动力转向器左腔容积减少，排出的油液按图示通路流回转向储油罐。

若对转向盘始终作用操纵力矩，使转向盘和转向螺杆逆时针方向连续转动，则液压助力装置一直参与工作，转向螺母在保持一定偏转角度的同时，随同活塞一起在转向螺杆轴上向左移动。

在向右转向过程中，分配阀的右侧反应腔与阀体进油环槽相通，腔内压力与动力转向器右腔压力相同，与转向轮的转向阻力成正比；而左侧反应腔与阀体的主回油环槽相通，压力相当于大气压。在右侧反应腔内，油压一方面作用于反作用柱塞，使其向右抵靠在端盖上，另一方面在滑阀上形成一个向左的作用力。在左、右两侧反应腔油压压差作用下，滑阀向左

回复中间位置。为了使转向轮连续右转，液压助力与转向阻力相适应，驾驶员需在转向盘上施加相应的力矩，经“螺杆—钢球—螺母”传动副传递转向螺母的控制导轨，克服滑阀定位弹簧的预紧张力及反应腔的油压力的作用。由此可见，驾驶员通过转向盘就可以感觉到转向轮转向阻力的变化情况，即“路感”。

当转向轮达到所需偏转角度时，转向盘停止转动，活塞在油压及“螺杆—钢球—螺母”传动副提供的轴向推力的共同作用而继续向左轴向移动。同时，在滑阀定位弹簧的张力和反应腔的压力作用下，转向螺母一方面顺时针转动，一方面随活塞沿转向螺杆向左移动；滑阀则相应向左轴向移动，直到滑阀回复至中间位置。至此，动力转向系统的进、回油道之间又重新直接串通。动力转向器的助力作用随即停止，转向轮便不再继续偏转。

如果想要转向轮继续向右转，则必须继续向右转动转向盘，重复上述全部过程。这样，转向垂臂轴轴颈上的控制凸轮圆弧面部分将相对于液压转向限制阀的柱塞端部做逆时针方向滑动。该限制阀的柱塞一直保持在此下位置，将动力转向器两腔室之间的连通油道截断（图 8-10-28）。动力转向器右腔油压与转向轮的转向阻力保持正比关系。当转向轮偏转至右极限位置附近时，控制凸轮的弧面高度下降区段开始接触限制阀柱塞的端部。此后，随着转向垂臂轴继续逆时针转动，柱塞即随同控制凸轮弧面高度下降而上移，将动力转向器左、右腔室沟通，右腔室内油压经限制阀部分卸压。此时，转向盘上的力感明显增大，表示转向轮已偏转至极限位置，驾驶员应立即停止转动转向盘。

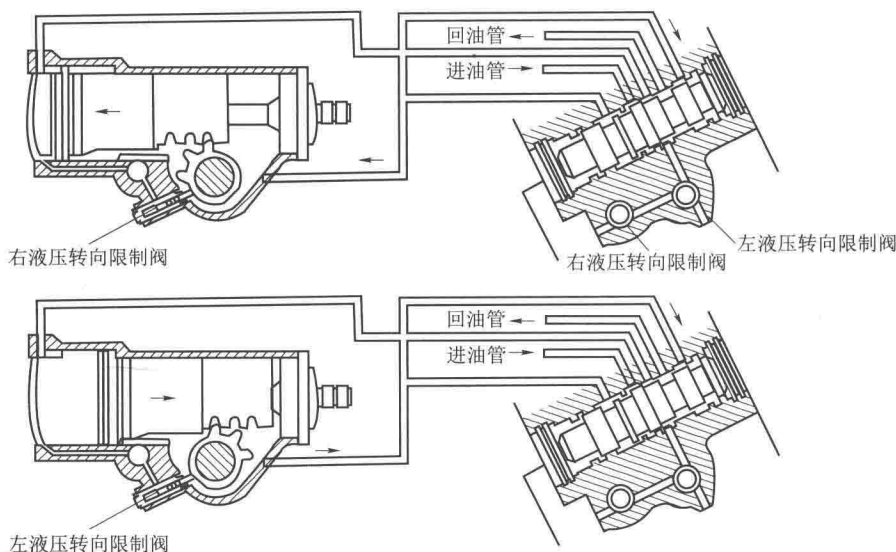


图 8-10-28 液压转向限制阀工作时，液压系统的油路

b. 向左转动转向盘。

向左转动转向盘时（图 8-10-29），工作情况与向右转动转向盘基本一致，区别在于开始时转向螺母控制导轨顺时针方向摆动，滑阀向左轴向移动，动力转向器油液通路与前述相反，助力方向相反。

② 液压助力装置失效时的转向。

在液压转向助力装置失效的情况下，可通过加大操纵力矩来转向。为减少已失效的液压助力装置对转向操纵所带来的阻尼作用，在分配阀的进、回油道之间安装有单向阀

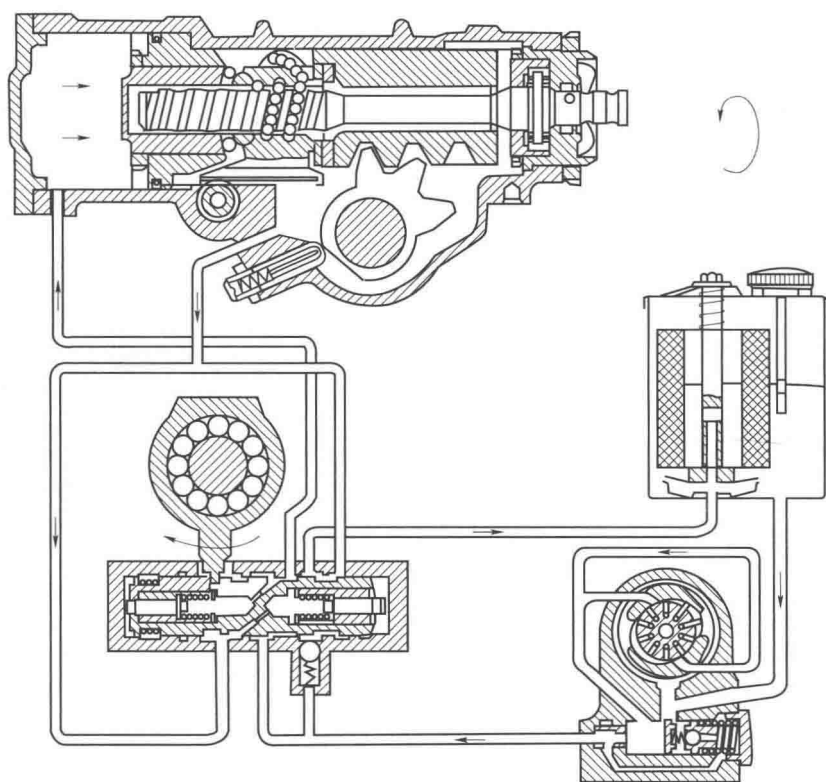


图 8-10-29 向左转向时，整体式动力转向系统的工作情况示意

(图 8-10-26)。

在转向油泵损坏后向右转向行驶时，操纵转向盘，转向螺母逆时针转动，直到其控制导板抵靠动力转向器壳体上的纵向切槽边缘时为止，随后通过转向传动机构使转向轮向右偏转。由于动力转向器右腔室得不到油液补充，活塞组件移动阻力相应增大。同时，由于进、回油道（即动力转向器左、右腔）之间出现压差，单向阀开启，使进、回油道沟通。油液从转向储油罐或动力转向器的左腔室循回油道经单向阀进入进油道，以补充右腔室，使活塞组件移动阻力相应减少。

③ 液压助力装置反向接通时。

整体式动力转向系统在转向轮遭受路面传来的巨大冲击或轮胎爆胎时，也可以使分配阀“反向接通”，以提高车辆直线行驶的稳定性和安全性。

当转向轮受冲击而出现右偏时，冲击力将经转向传动机构及齿条齿扇传动副传给活塞，通过碟形弹簧的缓和后，再对转向螺母右侧端面施加一向左的轴向推力。转向螺母向左移动，同时绕自身轴线顺时针转动，使控制导板克服滑阀定位弹簧张力，将滑阀推向左侧。分配阀被反向接通，动力转向器的左腔充油，以阻止转向轮继续向右偏转。滑阀轴向移动使分配阀反向接通所对应的转向轮偏转角很小，车辆仍将保持原行驶方向。

3. 转向传动机构

转向传动机构的作用是把转向器所传出的力传给转向车轮，使它偏转而保证车辆

转向。

转向传动装置在工作中除传递转向力外，还承受转向轮在道路行驶时所造成的振动和冲击。

转向传动机构一般由转向垂臂、转向纵拉杆和转向梯形机构等组成（图 8-10-16）。轮式装甲车采用独立悬架，在独立悬架的转向驱动桥上，每个转向车轮都能对车体做独立的相对运动。由于这一特点，独立悬架配用的转向传动装置采用了断开式的横拉杆。此外，由于底装甲板的阻隔，转向传动装置增设了转向立轴总成等。

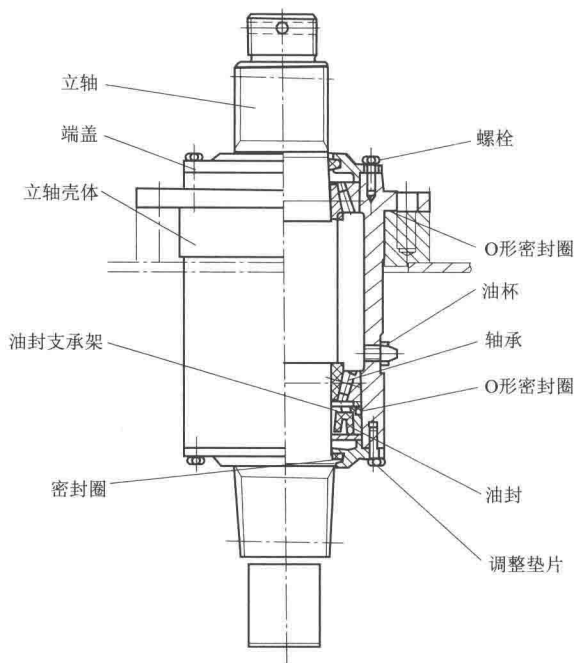


图 8-10-30 转向立轴总成

四个转向立轴总成（图 8-10-30、图 8-10-31）通过螺栓固定于车底装甲板的立轴附座上，其上端通过联臂与主横拉杆、纵拉杆连接，其下端通过摆臂与副横拉杆和转向节臂相连，从而构成轮式装甲车的前、中桥转向梯形机构。

第一纵拉杆总成、第一主横拉杆总成分别如图 8-10-32 和图 8-10-33 所示。第二纵拉杆总成、第二主横拉杆总成、副横拉杆总成与第一纵拉杆总成结构相似。

为了适应轮式装甲车转向时，车轮的跳动和摆动使副横拉杆做空间运动的特点，副横拉杆与摆臂、转向节臂之间的连接都采用了球关节连接。转向活动接头总成如图 8-10-34 所示。

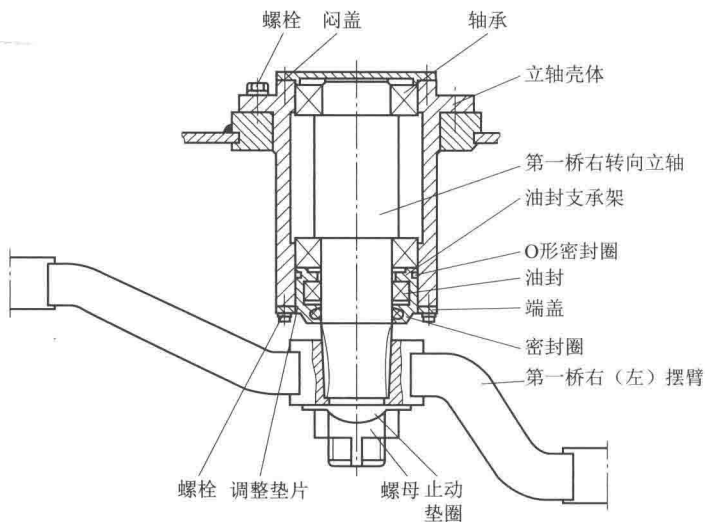


图 8-10-31 第一桥右立轴总成

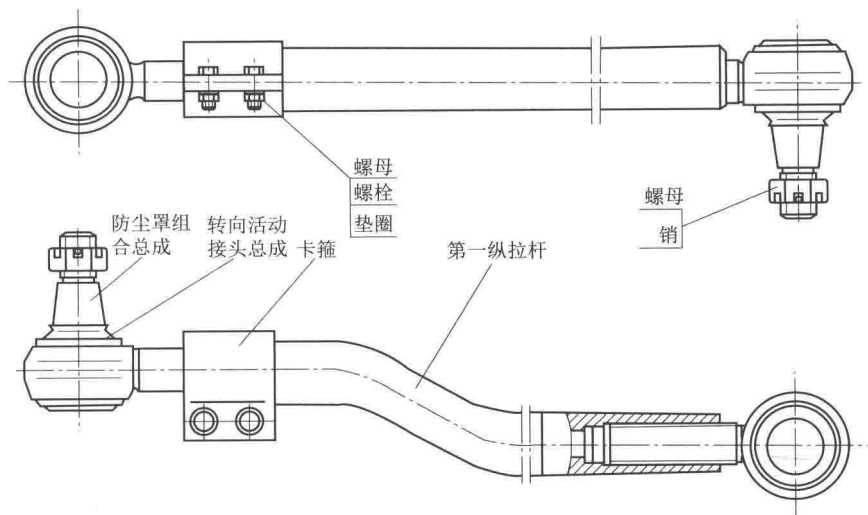


图 8-10-32 第一纵拉杆总成

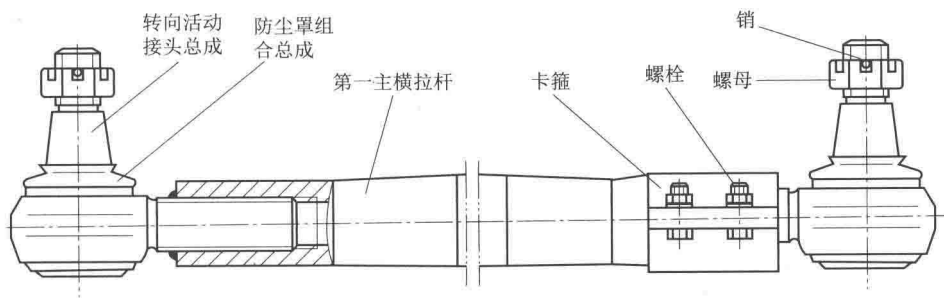


图 8-10-33 第一主横拉杆总成

四、液压操纵装置

我国 122 mm 自行榴弹炮传动系统主要由多片干摩擦式主离合器、定轴式变速箱、液压行星转向机等组成。离合器的操纵、变速箱的换挡和转向操纵采用液压操纵方式。

1. 系统基本组成

液压系统动力部分包括主离合器内液压油泵、外接油泵，执行部分包括制动离合器油缸、闭锁离合器油缸、主离合器油缸、换挡油缸、制动油缸，控制调节部分包括定压阀、单向阀、定压输出阀、转向操纵阀、主离合器操纵阀、脚制动操纵阀等（图 8-10-35）。

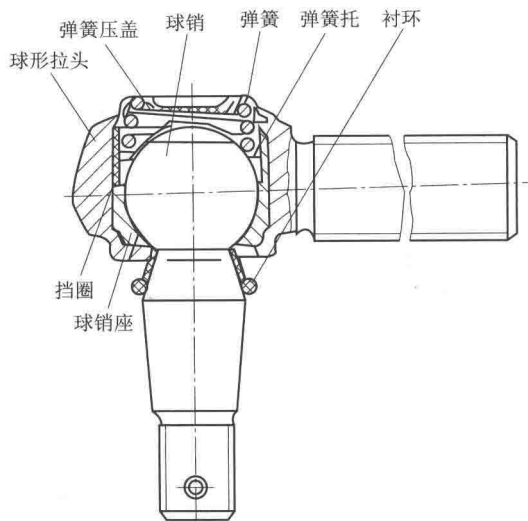


图 8-10-34 转向活动接头总成

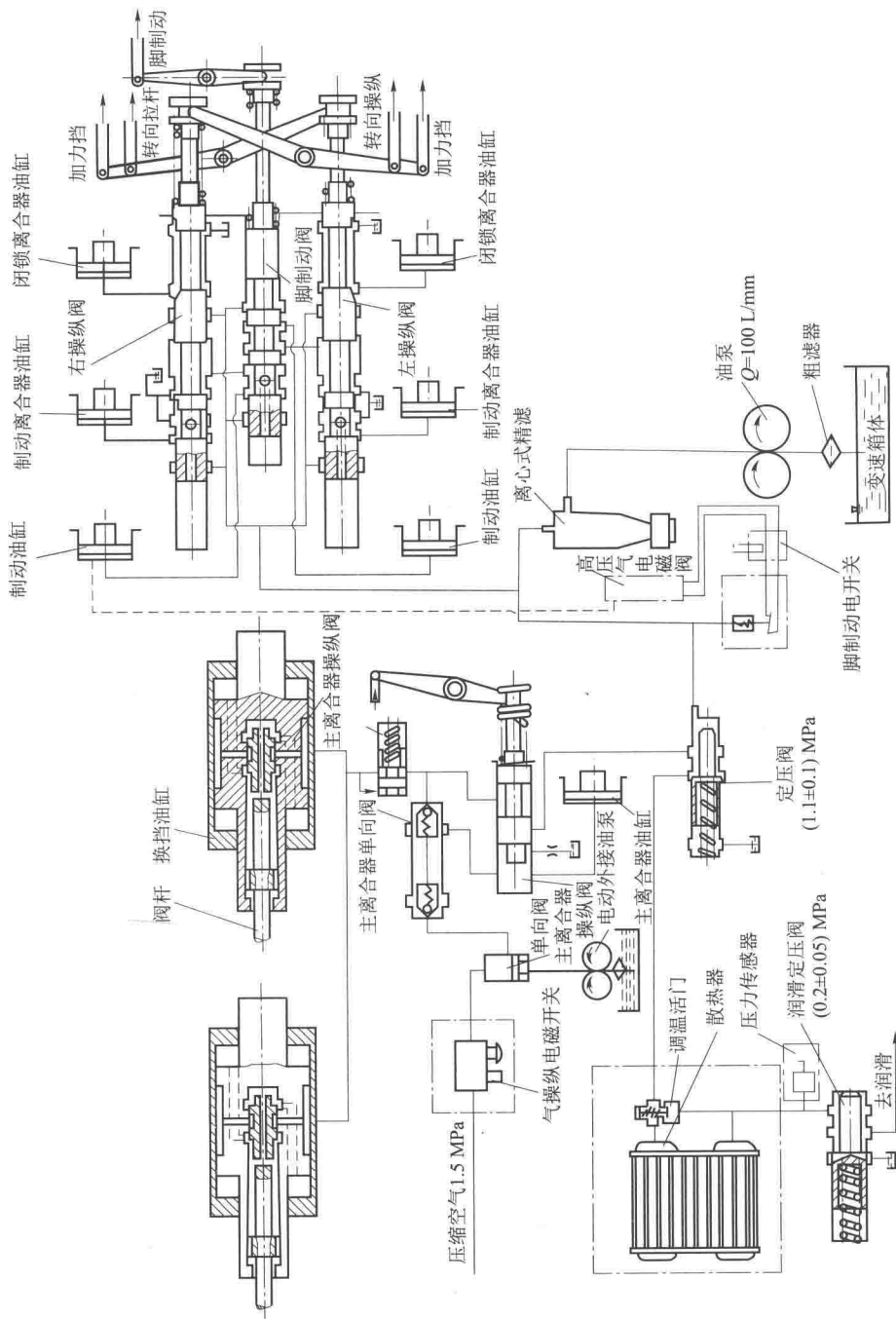


图8-10-35 122 mm自行榴弹炮液压系统回路

系统定压阀、润滑定压阀、主离合器单向阀与主离合器操纵阀为一体，装在变速箱上，其结构如图 8-10-36 所示。系统定压阀调定压力为 (1.1 ± 0.1) MPa，润滑定压阀调定压力为 (0.2 ± 0.05) MPa。

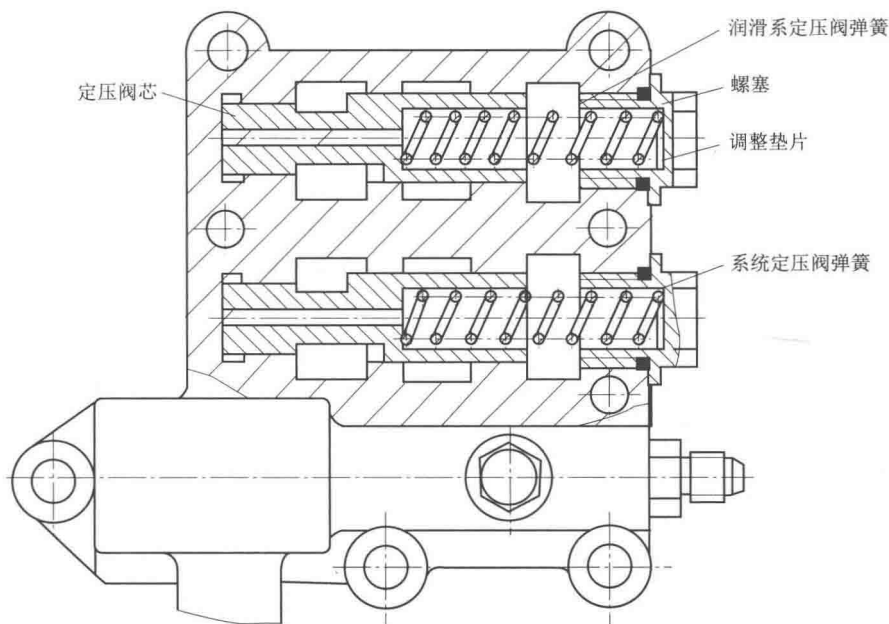


图 8-10-36 定压阀

定压输出阀固定在变速箱上，与两个换挡油缸相通（图 8-10-37），调定压力为 0.6 MPa。

液压系统主要完成液压换挡、转向、制动、主离合器液压操纵和为传动装置提供压力润滑。

2. 液压系统工作原理

当发动机工作时，分动箱主动齿轮带动液压泵工作，液压油经粗滤器进入油泵，油泵将液压油加压后送至精滤器，经精滤后的液压油分为两个主油路，第一路进入系统定压阀；第二路通液压转向和脚制动操纵阀，分别进行液压操纵和润滑。

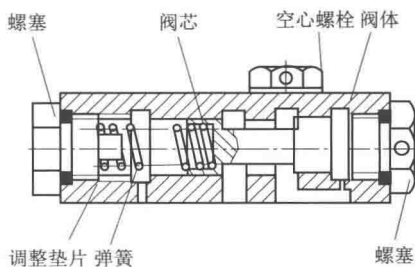


图 8-10-37 定压输出阀

进入系统定压阀的液压油又分为两路。第一路经定压阀内油道进入主离合器操纵阀，经操纵阀又分成两路，一路经定压输出阀，流向变速操纵装置的液压油缸；另一路经主离合器单向阀及箱体油道，流向主离合器油缸。主离合器单向阀通过单向阀与高压空气管道相连。在主离合器踏板未踏下之前，主离合器操纵阀处于原始位置，定压阀至主离合器操纵阀油路关闭，各机构无动作。

进入系统定压阀油腔的第二路液压油，通向机油散热器和变速箱、行星转向机。当油压超过 (1.1 ± 0.1) MPa 时，定压输出阀开通，液压油进入机油散热器油路和机油散热器中，流出后进入润滑定压阀（ (0.2 ± 0.05) MPa），润滑定压阀输出的液压油进入变速箱和行星转向机。当压力超过 0.2 MPa 时，润滑定压接通回油通道，液压油流回变速箱。在散热器进

出油口之间设置旁通回路，当机油温度低、油液黏稠、压力高时，调温活门被顶开，机油直接进入润滑油路。

由精滤器流出第二路液压油直接流向转向操纵阀，在转向操纵阀后分别流向制动滑阀油腔、左转向滑阀油腔、右转向滑阀油腔。制动滑阀油腔中的液压油可在制动滑阀的控制下同时流向左、右制动缸。左（右）转向阀油腔中的液压油通过左（右）转向阀的控制可流向三处：一是到达制动离合器油缸，二是左（右）侧闭锁离合器油缸，三是左（右）侧制动油缸。

（1）液压换挡

1) 主离合器分离

换挡时，踏下主离合器踏板，主离合器操纵阀杆移动，打开油路。操纵阀内液压油一路顶开主离合器单向阀，进入主离合器油缸，使主离合器主、被动摩擦片分离，切断发动机传给变速箱的动力。

2) 液压换挡

操纵阀内液压油另一路经定压输出阀进入换挡油缸。空挡时，阀杆关闭活塞上的左、右油道，活塞两端压力相同，因而静止不动；当操纵变速杆，使某挡拉杆移动后，拉杆带动换挡油缸阀杆移动，打开某一油道，液压油流入活塞的一端，在压力差作用下，活塞移动，带动变速拨叉及轴转动进行换挡，换挡后传动杆被弹子定位。

3) 主离合器结合

换挡完毕，松开主离合器踏板，各轴、拉杆、拉臂等在回位弹簧回复力作用下回位，同时主离合器操纵阀在弹簧作用下回位，控制油路被切断；主离合器压紧弹簧伸张，将活塞推回原位，主、被动摩擦片在弹簧作用下结合，发动机动力经离合器传给变速箱，车辆在新的挡位下行驶。

（2）液压转向

1) 直线行驶

操纵杆处于水平位置，操纵阀杆和各油缸处于原始位置，液压转向系统内部没有动作，车辆直线行驶。

2) 转向

当转向操纵杆左边向下压转时，左转向轴转动，带动拉臂及拨叉转动，使转向阀杆向阀内移动。随着阀杆移动量的增大，充入行星转向机闭锁离合器的液压油越多，闭锁离合器的摩擦片分离越快，实现分离转向；转向操纵杆继续向下转动，转向阀杆打开制动离合器油路，液压油充入制动离合器油缸，使活塞逐渐压紧制动摩擦片，制动制动鼓，实现车辆大半径转向；当转向操纵杆转到最下方时，闭锁离合器完全分离，制动离合器油缸内液压油流回油箱，活塞回位，摩擦片分离，制动离合器松开，同时液压油充入制动油缸，活塞顶住制动带杠杆，直至抱死制动鼓，车辆原地转向。

向左转向，左转向轴转动，右转向轴不动，右侧转向操纵传动机构仍保持直线行驶状态。

向右转向与向左转向各机构动作基本相同。

当转向操纵杆放回水平位置时，操纵阀杆在弹簧作用下回复原位，制动器、制动离合器、闭锁离合器回复到直线行驶状态，车辆直线行驶。

(3) 其他

1) 脚刹车

踩下脚制动踏板，脚制动阀阀杆向内移动，打开油路，使主油道的液压油进入两个制动油缸，然后活塞伸出，顶两个制动带杠杆，拉紧制动带，车辆制动。

2) 加力时

移动加力操纵杆，使转向操纵阀体中的两个阀杆同时处于大半径转向状态，制动离合器结合，降低车速，增加扭矩，加力行驶。

3) 外接油泵分离主离合器

当发动机不工作且高压空气压力不足，需要摘下排挡或启动发动机时，必须分离主离合器，减小启动阻力。此时打开外接油泵，输出的液压油顶开单向阀，充入主离合器操纵阀。当踩下主离合器踏板时，压力油进入主离合器油缸，使主离合器分离，即可启动发动机或摘挡。

五、电液式操纵装置

电液式操纵装置采用电磁阀控制换挡，有手动和自动两种方式，图 8-10-38 所示为电液换挡操纵原理图。当手动或自动操纵电磁阀 2 通电时，主油路接通，压力 p 作用在先导阀右端，使换挡阀左端排油卸压。换挡阀左移，离合器（制动器）充油油路接通，离合器接合。由蓄压器和节流孔组成的节流型缓冲结构可使离合器接合过程平稳。缓冲过程同时还受发动机油门信号压力控制，油门大时缓冲作用加强。

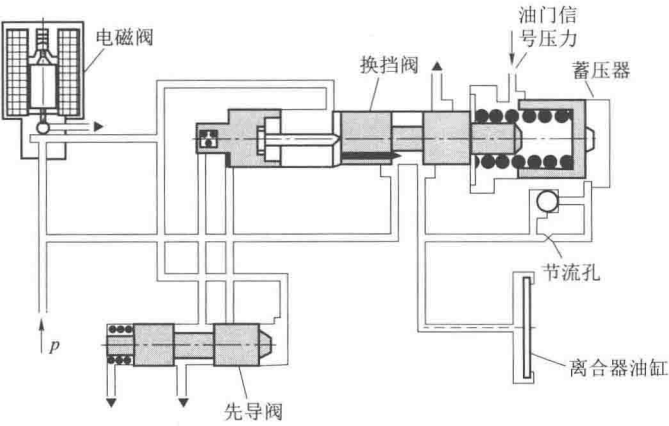


图 8-10-38 电液换挡操纵原理

图 8-10-39 所示为 LSG3000 型传动电液操纵液压系统原理图。主泵向压力油箱供油，压力油箱油压为 0.2~0.3 MPa。补偿油泵向液力变矩器供油，并构成冷却补偿油路。液力减速器由压力油箱供油，由脚踏阀控制制动。变速泵和转向泵分别向变速和转向控制油路供油，控制压力为 1.4~1.6 MPa。

图 8-10-40 所示为 SG3000 综合传动的变速和转向控制系统原理图。变速控制压力油由变速泵供给。换挡电磁阀由换挡信号控制，油压推动先导阀使换挡阀动作，从而接通离合器控制油路，压力油充入离合器油缸，实现换挡。转向控制油压由转向泵提供。操纵转向盘控制相应转向阀，实现大、中、小三种规定转向半径。

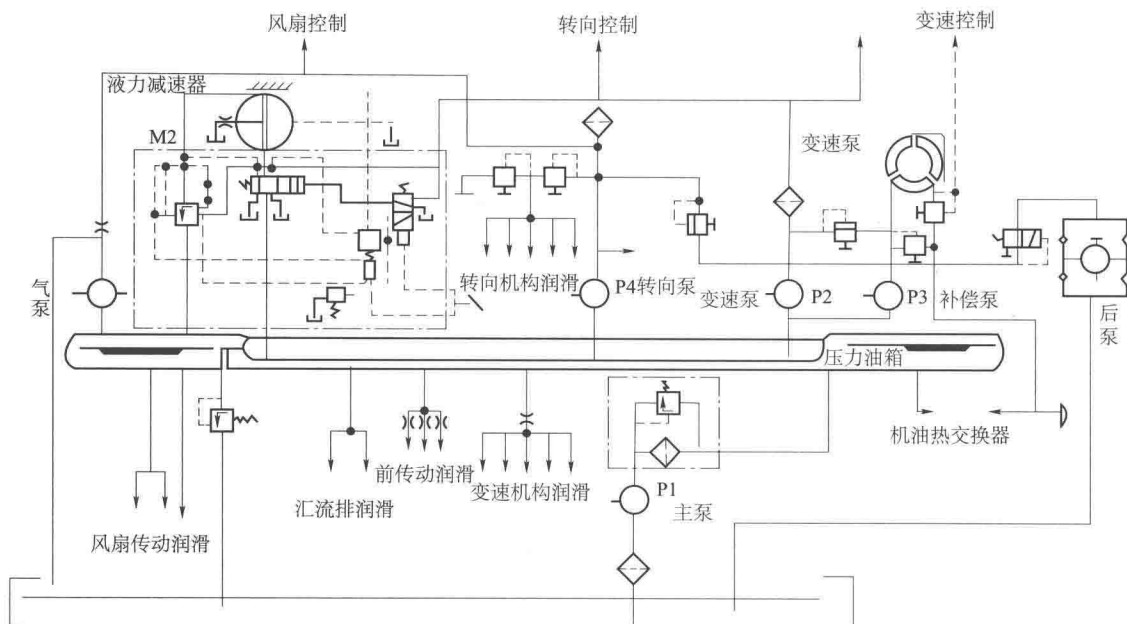


图 8-10-39 电液换挡液压系统原理

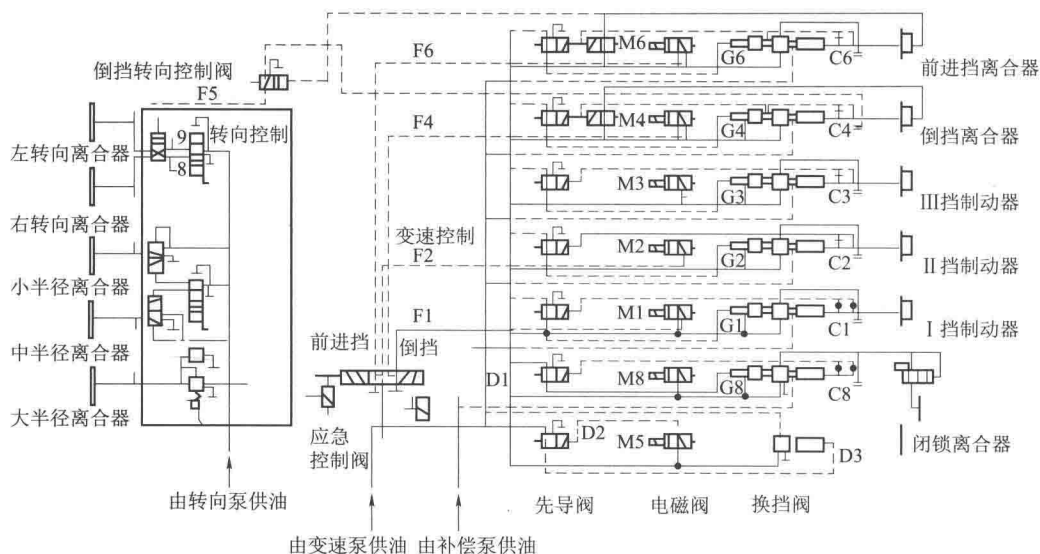


图 8-10-40 变速和转向控制系统原理

六、自动变速

为减轻驾驶员疲劳，充分发挥动力传动装置的性能，在电液操纵基础上通过增加程序控制可实现自动变速（AT）功能。自动变速（AT）是指液力变矩器与机械式变速器组成的自动变速系统。自动变速诞生于 20 世纪 30 年代，经过 70 多年的发展，其技术已十分成熟。20 世纪 70 年代，装甲车辆在采用电液自动变速系统后，在各种使用工况下能实现发动机与

传动系的最佳匹配,控制更加精确、有效,性价比大大提高。目前,电液自动变速系统得到广泛采用。

液力机械式自动变速系统由变矩器、机械式变速器(一般多采用行星齿轮)和电子液压控制系统三部分组成。在液力机械式自动变速系统中,换挡机构是换挡离合器或换挡制动器;操纵机构用电液换挡控制机构取代了手动连杆操作机构。在自动变速系统中,普遍采用具有闭锁离合器的液力变矩器,配以电子控制系统后,可实现自动换挡以及液力变矩器的闭锁与解锁操作。

图 8-10-41 所示为上小节 LSG3000 传动装置电液自动换挡系统框图。该系统由车速传感器、油门位置传感器、选挡器、电子控制单元(ECU)、控制程序、换挡阀等组成。当选挡器位置放在位置 4 时,可在 1~4 挡间自动换挡,放在位置 3、位置 2 可分别在 1 和 3 挡、1 和 2 挡间自动换挡。

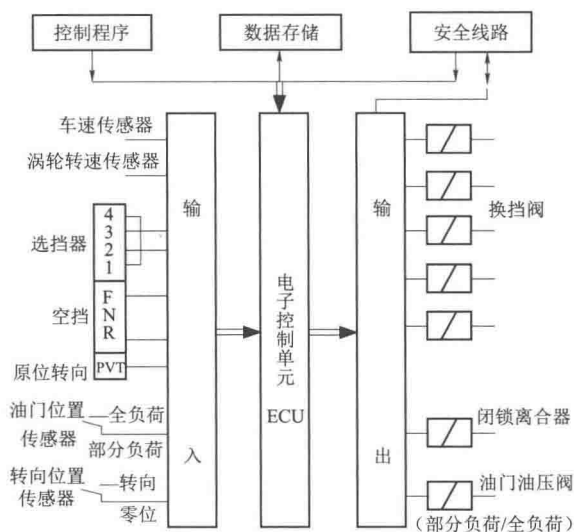


图 8-10-41 LSG3000 传动电液自动换挡系统

液力机械式自动变速系统工作原理如图 8-10-42 所示。系统的电子控制单元 (ECU)

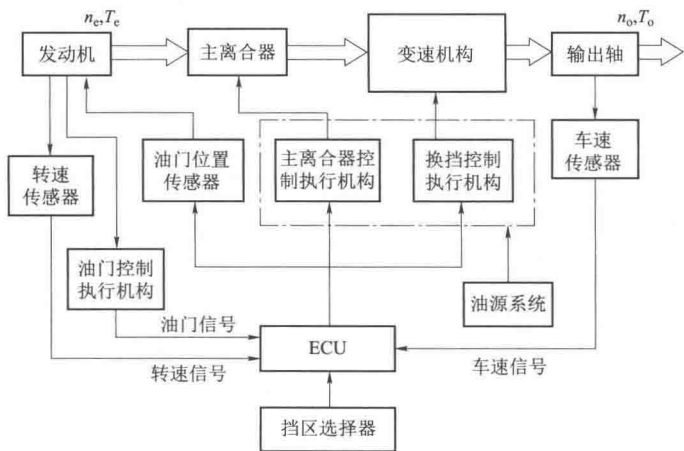


图 8-10-42 液力机械式自动变速系统组成及控制原理

根据发动机油门信号和车速信号以及选挡控制器位置信号，来完成挡位选择及换挡控制。对于不同的车辆、发动机、变速器以及使用工况，采用的换挡策略不同。换挡策略由程序实现，影响换挡品质的各参数通常由台架试验或道路试验确定。换挡程序存于 ECU 的可擦写只读存储器中。装甲车辆自动换挡系统采用车载蓄电池供电，电压通常为 12 V 或 24 V。

换挡控制 ECU 及输入与输出信号关系如图 8-10-43 所示。

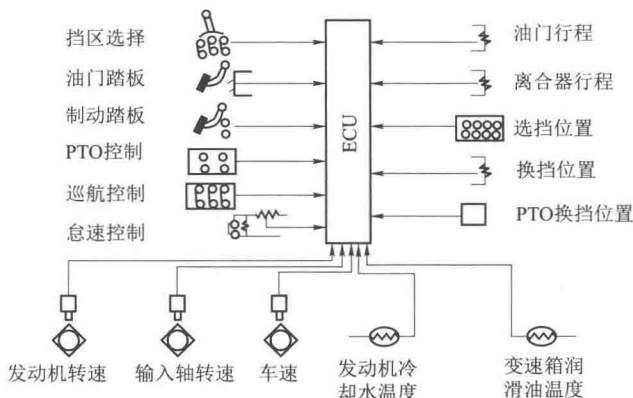


图 8-10-43 液力机械式自动变速系统组成及控制原理

车速信号由变速器输出轴上的转速传感器产生。如果该传感器发生故障，则变速系统将保持在发生故障之前的挡位。

油门位置信号也称为油门开度信号，由油门传感器产生，该信号反映发动机供油油门大小并且影响换挡点的位置。对于单参数换挡策略，换挡点只与车速有关。自动换挡控制分单参数和双参数两种，单参数控制是换挡点只取决于车速，双参数控制的换挡点不仅取决于车速，还与油门开度有关。描述相邻两排挡间自动换挡点与控制参数之间的关系线图称为换挡规律，它是自动换挡的基本特性。

涡轮转速信号反映液力变矩器涡轮转速的大小，一般用来判断机械变速传动比正确与否。

挡位选择信号由选挡控制器产生，它通过传感器将选择的位置信息以电信号的形式输入给 ECU。

制动信号由制动踏板产生，当有该信号输入时，不能进行升挡操作。

模式选择开关信号供驾驶员选择是按动力型还是按经济型换挡规律，以便进行自动变速。

lick-down 信号也称为超车开关信号，该开关放在发动机油门踏板的底下，当油门踏板踩到底时，该开关被触发，变速器首先自动降挡，再沿最大的发动机动力特性曲线进行升挡，从而产生尽可能大的功率进行加速。装甲战斗车辆上一般无此功能。

驾驶员可以通过选挡控制器将选择信号输给 ECU，完成如前进挡、空挡、倒挡，以及自动挡区间的选择。通常情况下，在选挡控制器的标记中，P 表示驻车，R 表示倒挡，N 表示空挡，D 表示前进挡（在所有正常挡区内进行自动换挡）；5、4、3、2 等按变速器挡位数的不同，表示在有限挡区间内自动换挡（如在 5~1、4~1、3~1、2~1 挡内自动换挡）。

在 N/P 两个位置时，发动机允许进行启动，此时变速器挂空挡，没有动力传递。在驻

车时，通过内部联锁控制机构，变速器的输出轴与整车锁成一体。

图 8-10-44 所示为某自行火炮的三自由度定轴式综合传动装置传动简图，该变速机构采用电液自动换挡控制系统。综合传动装置包括带闭锁离合器的液力变矩器、以湿式多片离合器作为换挡执行元件的三自由度定轴式机械变速机构和液压无级转向系统等子系统。其中，变速部分主要由三根主轴和位于其上的六个液压换挡离合器构成。换挡逻辑见表 8-10-1。

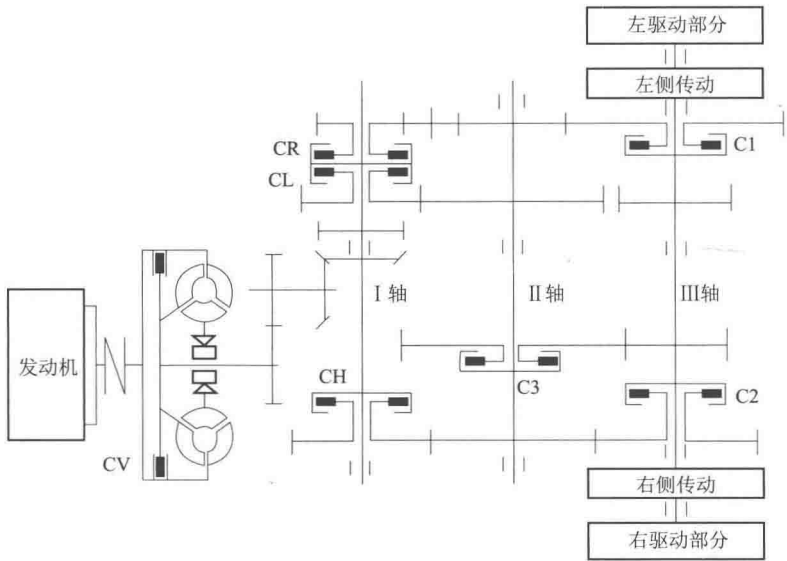


图 8-10-44 自行火炮液力三自由度定轴式综合传动装置传动

表 8-10-1 挡位逻辑

挡位	空挡	一档	二挡	三挡	四挡	五挡	六挡	倒挡	闭锁
接合 离合器	C1	C1 CL	C1 CH	C2 CL	C2 CH	C3 CL	C3 CH	C1 CR	CV

结合档位逻辑表和变速箱传动简图可以看出，在一挡和二挡、三挡和四挡以及五挡和六挡之间进行交替时，只需对 I 轴上的 CL 和 CH 离合器进行替换，II 轴和 III 轴上的离合器保持接合，这种换挡过程只进行两个离合器之间的交替；而在二挡和三挡、四挡和五挡进行交替时，不但需对 I 轴上的 CL 和 CH 离合器进行替换，而且需要对 II 轴和 III 轴上的离合器进行替换，这种换挡过程要进行四个离合器之间的交替。

电液换挡控制系统原理如图 8-10-45 所示，它由电子控制系统、液压控制回路和换挡器组成。

电子控制系统由输入信号、处理器和输出信号组成。输入信号包括：

- ① 反映驾驶员操作意图的传感器信号：多功能手柄式选挡器信号、强制闭锁信号、拖车启动信号、刹车信号、与发动机电控系统通信得到的油门踏板开度信号。
- ② 反映动力传动装置工作状况的信号：主要是涡轮轴转速信号、与发动机电控系统通信得到的发动机转速信号、变速箱输出轴转速传感器信号、操纵油压信号、变矩器补偿油压信号、变矩器出口油温信号、操纵油滤报警信号、变矩器油滤报警信号。

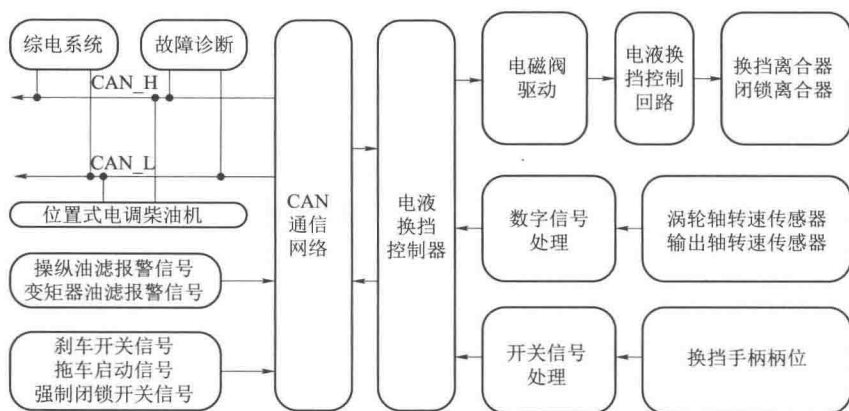


图 8-10-45 自动变速操纵系统

七路电磁阀是电液控制系统的执行元件，是电液转换的接口。综合传动装置通过七个电磁阀的通断组合，就可以得到所有的挡位和液力变矩器的闭解锁状态。

控制器是控制系统的核心，全部电路板装在密封的壳体内，与外界实现隔离，具有可靠的散热能力。

系统具有 CAN 总线接口和标准串行接口 RS232：

- ① CAN 总线用于发动机、显示等设备间进行双向通信；
- ② RS232 用于随车数据采集和车辆调试。

液压控制回路主要实现各离合器的充、放油控制，换挡品质控制是将高速开关电磁阀和双边节流滑阀连接在一起，构成调压阀。

调压阀不仅能够完成油路的换向控制，而且能够实现离合器的充、放油压力控制。一个调压阀就可完成对一个换挡离合器的充、放油缓冲控制和开关控制。

调压阀的工作原理如图 8-10-46 所示，由调压阀组成的液压控制回路如图 8-10-47 所示。

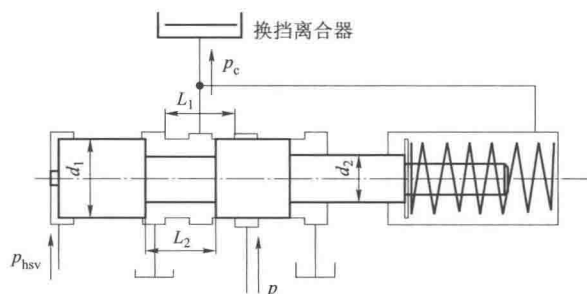


图 8-10-46 调节阀工作原理

受电磁阀输出油压 p_{hsv} 控制的双边节流的阶形调压阀，其腰部环槽与三条油路（输入主油压 p 、输出至换挡离合器的 p_c 油路以及泄油路 T ）相连，其中输出的油压 p_c 还作为反馈油压被引至滑阀的最右端，然后和弹簧力一起共同作用于滑阀最右端，从而与滑阀最左端的 p_{hsv} 油压作用力相平衡。

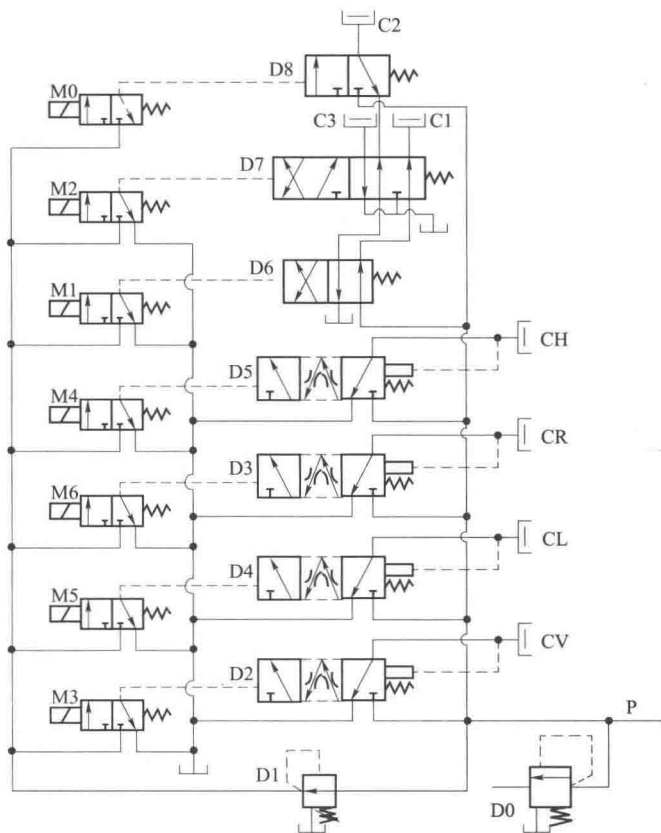


图 8-10-47 液压控制回路原理

这种受电磁阀控制的换挡调压阀兼有换挡及调压两种功能。它有三种位置和四种工作状态。现以一个受二位三通常闭式电磁阀控制的换挡调压阀为例来说明。

① 未启动位置：电磁阀尚未启动，滑阀受回位弹簧力的作用而处于图 8-10-46 所示原始位置，通往换挡离合器的油路与泄油道相通，换挡离合器处于分离状态。

② 电磁阀完全开启位置：电磁阀初次完全开启后，充油开始，由于离合器内的油压还很低，滑阀只须克服回位弹簧力就被推向极右端；通往换挡离合器与高压供油道完全相通，换挡离合器快速充油，直到离合器自由间隙消除、进入调压状态位置为止。

③ 调压位置：换挡离合器快速充满油后，调低滑阀左端的电磁阀油压 p_{hsv} ，同时也将油压 p_c 反馈作用于滑阀的最右端，和回位弹簧力共同作用，与滑阀左端的 p_{hsv} 油压力形成平衡关系。滑阀将被推移至中间的调压位置，这时滑阀的两个节流边刚好处于 p 主油路似开未开、泄油路 T 似关又未完全关闭状态，因此使通往换挡离合器的油压 p_c 处于低于主油压 p 的某个数值。这时的 p_c 油压数值取决于受力平衡时的 p_{hsv} 的大小。这就是处于电磁阀控制的调压状态。

④ 电磁阀完全开启位置：在完成充油调压控制之后，再次调高 p_{hsv} 油压，把滑阀保持在最右端，换挡离合器的供油道保持完全相通，换挡离合器保持在处于完全接合状态。

液压控制回路的油源采用综合传动装置的前泵（发动机带动）和后泵（电动机带动）供油，设计的控制回路（图 8-10-47）由下列 9 个阀组成。

① 定压阀 D0：为减压阀 D1、应急阀 D9、换挡阀 D6~D8 和调压阀 D2~D5 提供一个稳定的主油压，同时提供润滑油压。

② 减压阀 D1：为所有电磁阀 M0~M6 提供一个稳定的入口油压，借以经过 PWM 控制，控制各调压阀的输出油压。

③ 调压阀 D2：用来实现 CV 闭锁离合器的充放油缓冲和开关控制。

④ 调压阀 D3：用来实现 CR 换挡离合器的充放油缓冲和开关控制。

⑤ 调压阀 D4：用来实现 CL 换挡离合器的充放油缓冲和开关控制。

⑥ 调压阀 D5：用来实现 CH 换挡离合器的充放油缓冲和开关控制。

⑦ 换挡阀 D6：用来接通 C1、C2、C3 三个换挡离合器的供油通路。

⑧ 换挡阀 D7：用来与换挡阀 D6 串联相接，完成 C1、C2、C3 三个换挡离合器的控制。

⑨ 换挡阀 D8：用来实现 C2 换挡离合器的充放油开关控制。

液压系统按模块化设计。D2~D5 四个压力控制回路的液压元件相同，工艺性好。通过 M0~M6 七个电磁阀的组合，既可以实现表 8-10-1 所示的换挡控制逻辑，又能实现闭锁缓冲控制和换挡离合器充放油的数字控制。

第十一节 侧传动与轮边减速器

一、侧传动

侧传动又叫侧减速器，它是坦克传动系统中最后一个组成部件。在所有主战坦克主动轮前都装有传动比很大的侧减速器。侧传动具有固定的传动比，主要是用来降低前级传动传来的转速，以增大主动轮上的扭矩。因为有侧传动的存在，变速机构、转向机构才可以做得高速低扭、质量小、体积小。

现代装甲车辆常用的侧传动有一级侧传动和二级侧传动两类。

一级侧传动的种类很多，有外啮合式、内啮合式、同轴式和行星式（图 8-11-1）。外啮合侧传动结构简单、传动比大；内啮合式侧传动能充分利用空间，结构紧凑。行星式侧传动多点啮合，减速器无径向力。

二级侧传动是由一级定轴外啮合式减速机构和一级行星式减速机构组合的二级侧传动，图 8-11-2 所示为某坦克的二级侧传动。

（一）一级侧传动

侧减速器由主动轮部分、被动轮部分、箱盖和箱体组成。主动部分的主动齿轮轴外端安装着行星转向机，被动部分的被动轴外端安装着主动轮。

主动部分由主动齿轮轴、双列球面滚子轴承及轴承固定套、轴承衬套、双列滚子轴承及轴承固定套、游动垫圈和调整垫圈等组成（图 8-11-3）。

被动部分由被动齿轮、被动轴、固定螺塞、锥头螺杆、调整垫圈、两个球轴承、压紧盖、一个双列滚子轴承、支承套、游动垫圈、挡油盖和防尘罩等组成（图 8-11-4）。

(二) 二级侧传动

二级侧传动由主动部分、被动部分、箱体及盖组成。图 8-11-5 所示为某种轻型履带式车辆底盘的侧传动。

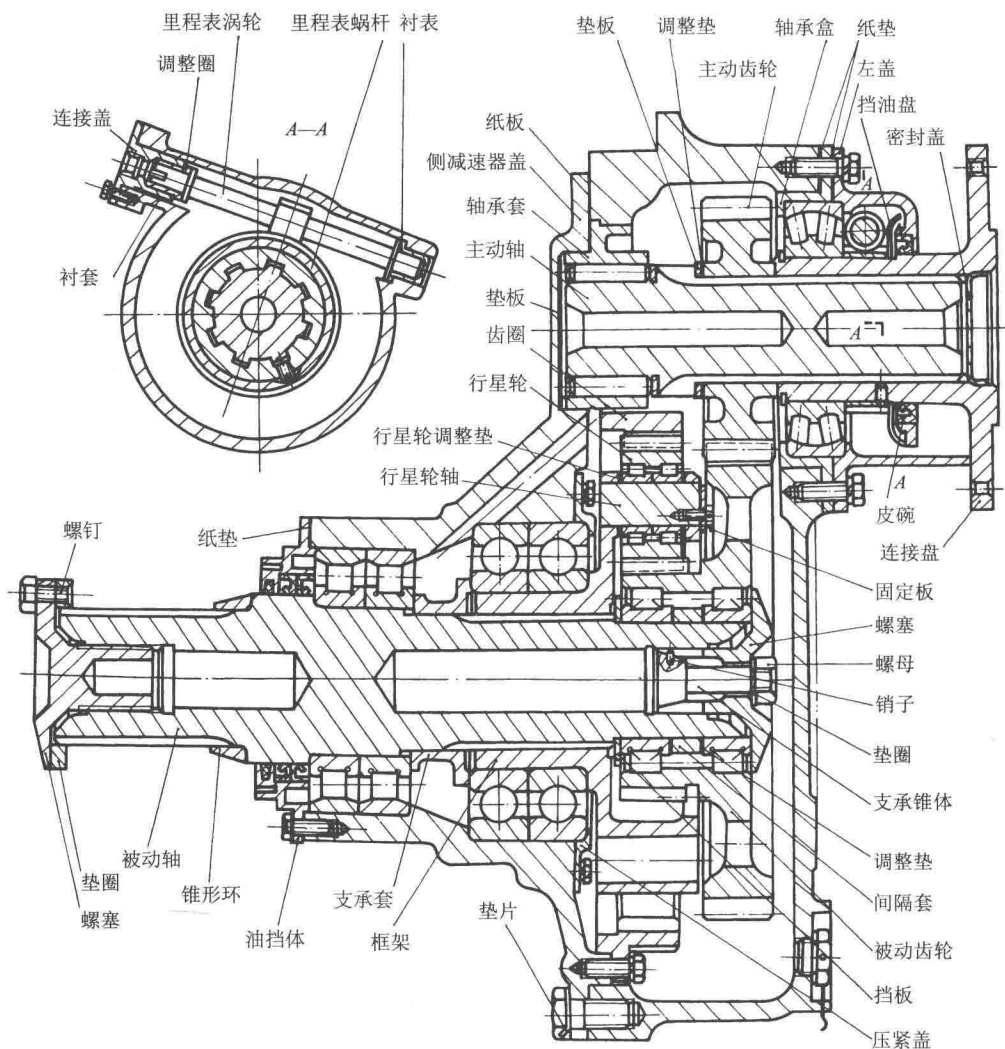


图 8-11-5 某轻型底盘侧传动

二、轮边减速器

和履带式车辆一样，在轮式装甲车辆车轮前普遍装有传动比很大的轮边减速器。采用轮边减速器可使驱动桥中间部分的主传动器尺寸减小，保证车桥有足够的离地距离；可得到比较大的驱动桥总减速比；由于半轴在轮边减速器之前，其所承受的扭矩大为减小，因而半轴和差速器等零件尺寸也可相应减小。

图 8-1-6 所示为前述 6×6 轮式装甲车的前桥传动示意图。在驱动轮前装有轮边减速器，

第九章

行动部分与水上推进装置

装甲车辆的行动部分指的是支撑车体、保证行驶、减小车辆在各种地面行驶中颠簸与振动的机构和零件的总称，它由推进装置和悬挂装置两部分组成。

现代坦克装甲车辆除了在陆上行驶外，还需要具备一定的通过江河湖泊的能力，这就是水上推进装置的作用。

第一节 履带推进装置

履带推进装置是把发动机经传动装置传至主动轮上的扭矩变为驱动坦克行驶的牵引力，传递地面传来的制动力以制动车辆，支撑坦克车体以上质量，保证车辆具有良好的越野及行驶通过性的一套机构。

履带推进装置由履带、主动轮、负重轮、诱导轮、托带轮和履带调整器组成，如图 9-1-1 所示。

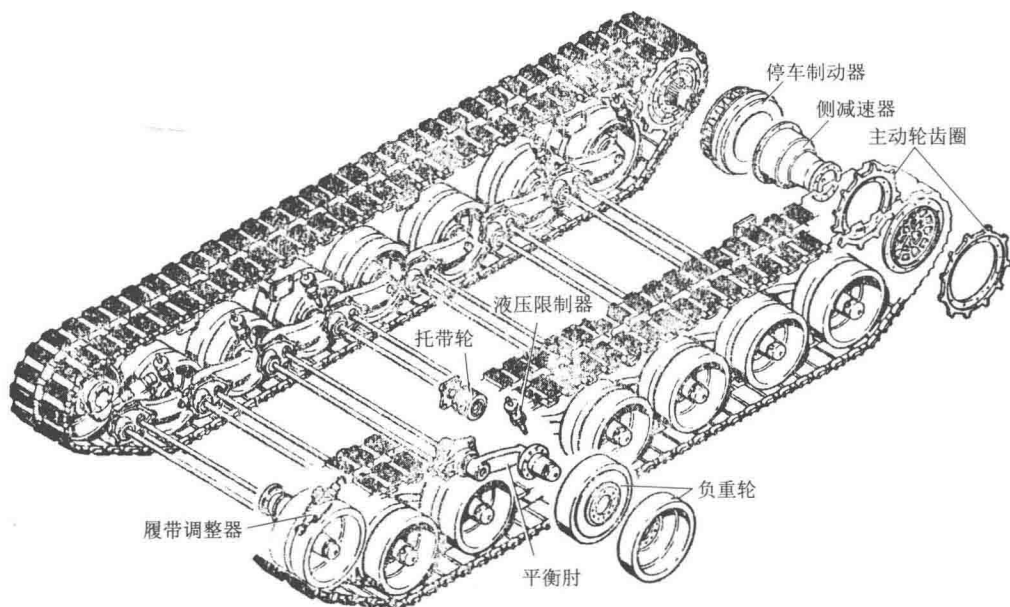


图 9-1-1 履带推进装置

一、主动轮与履带

主动轮齿圈与履带相互啮合构成啮合副，它将传动装置传来的扭矩转变为履带与地面相互作用力以推动车辆运动，或在制动时传递由地面传来的制动力以制动车辆。

履带啮合副可分为单销啮合副和双销啮合副两种。凡相邻两块履带板由一根履带销连接起来的，称为单销啮合副，如 T-59 式中坦克、M113 和装甲履带输送车、自行火炮等（图 9-1-2）；凡相邻两块履带板由两根履带销及连接器连接起来的啮合副，称为双销啮合副，如 M4A3、M48、豹 I、豹 II 坦克及 5-25 自行高炮等（图 9-1-3）。双销啮合副被采用得越来越多。

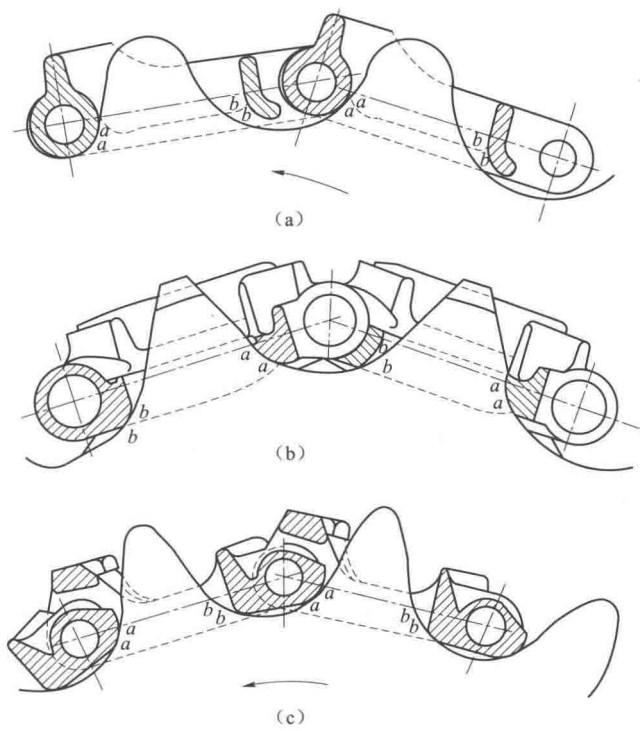


图 9-1-2 单销式啮合副

(a) 装甲履带输送车用；(b) M113 装甲输送车用；(c) 中型坦克、自行火炮用

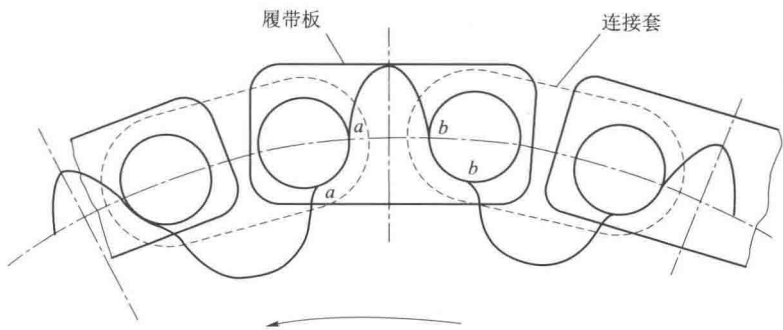


图 9-1-3 双销式啮合副

（一）主动轮

一般来说，根据动力传动的布置，主战坦克主动轮位于车体后部两侧，其他履带式车辆

主动轮位于车体前部两侧。主动轮用来将侧减速器传来的扭矩传给履带，以带动履带绕动，使车辆运动。

结构上主动轮均为双排齿圈式，由两个基本部分组成：齿圈和轮毂。两者用螺栓连接，齿圈磨损后可以更换。

图 9-1-4 所示为某主战坦克的主动轮。轮毂既可安装用于金属履带的 13 个齿的齿圈，也可以安装用于挂胶履带的 12 个齿的齿圈。

图 9-1-5 所示为某自行火炮主动轮，它由轮毂、胶圈、齿圈、锥形衬套、固定螺塞、带齿垫圈组成。

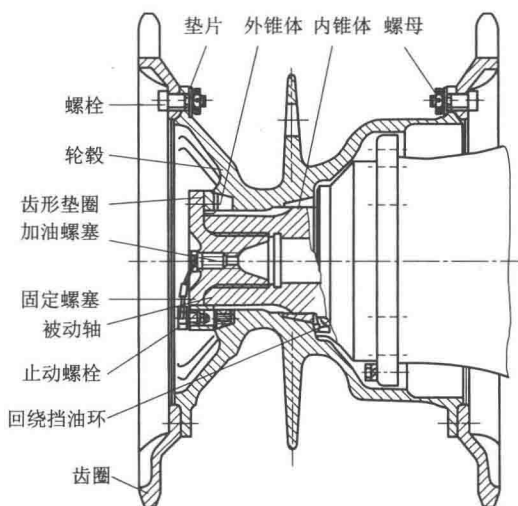


图 9-1-4 主战坦克主动轮

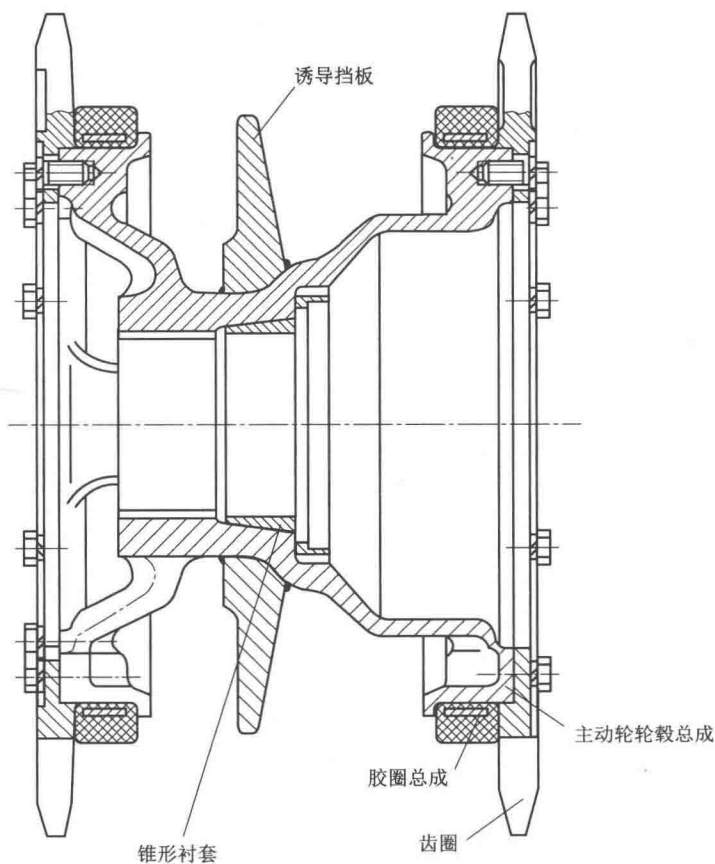


图 9-1-5 自行火炮主动轮

每个主动轮上有两个齿圈，齿圈用螺栓固定在轮毂上并锁紧，在齿圈和轮毂间装有胶圈，用来减轻齿圈带动履带绕动时产生的机械冲击和噪声，使传动平稳。

(二) 履带

履带是一种在行进中随地铺设和随用随收的无限轨道，它使履带车辆具有较高的通行性能。

履带约占行动部分质量的一半，常采用铸、锻、焊方法制成。每辆车上有两条履带。

按铰链结构，履带板可分为全金属履带和挂胶履带。全金属履带结构简单、质量小，但铰链磨损快、平均寿命低。挂胶履带可部分或全部在底面、滚道、销耳中挂胶，使用寿命长、行驶噪声小、效率较高、传给传动装置动载荷小。

按结构形式，履带板可分为单销式（图 9-1-6）和双销式（图 9-1-7）两种。

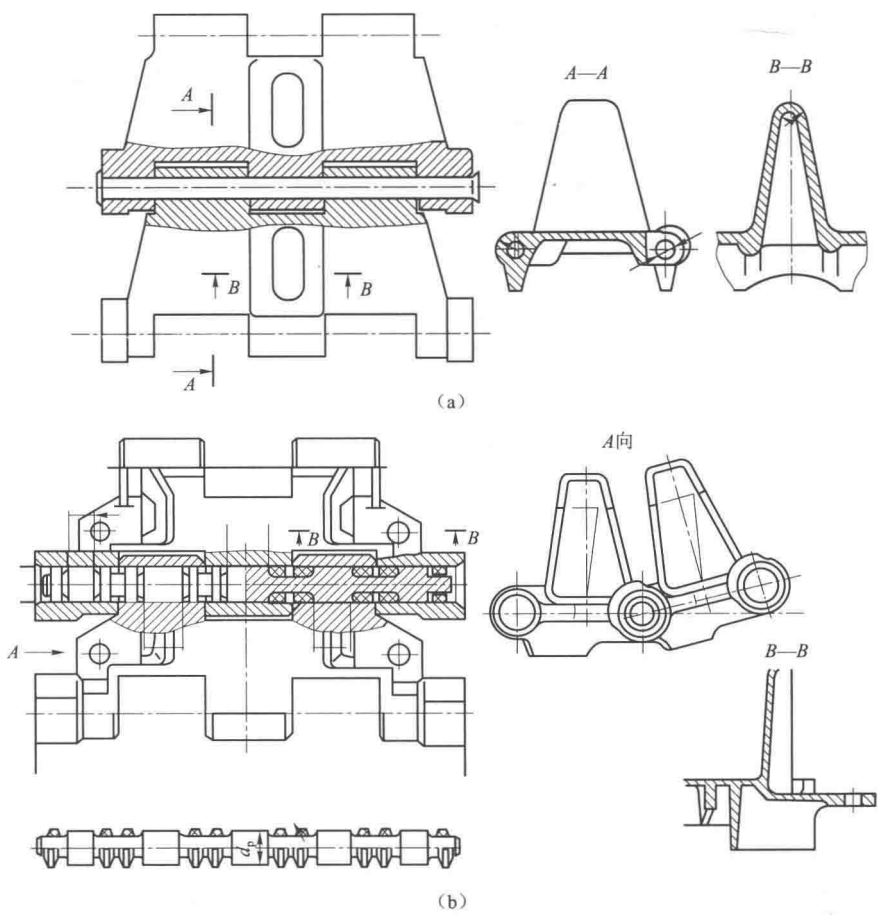


图 9-1-6 单销式金属铰链履带

(a) 敞开式金属铰链履带；(b) 密封式金属铰链履带

图 9-1-8 所示为某主战坦克的金属铰链履带和防滑式履带。

为了使履带车辆不损坏路面或降低坦克的噪声，同时提高坦克行动部分的效率，可使用挂胶履带。使用挂胶履带时，需在主动轮上更换配套的齿圈，或换上有配套齿圈的主动轮。图 9-1-9 所示为某自行火炮的挂胶履带。

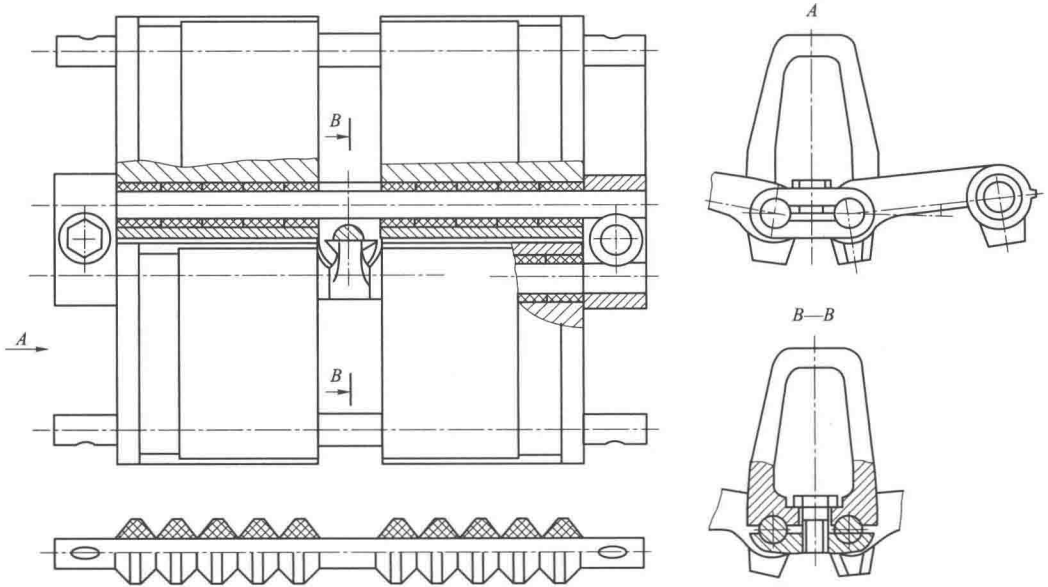


图 9-1-7 双销式橡胶铰链履带

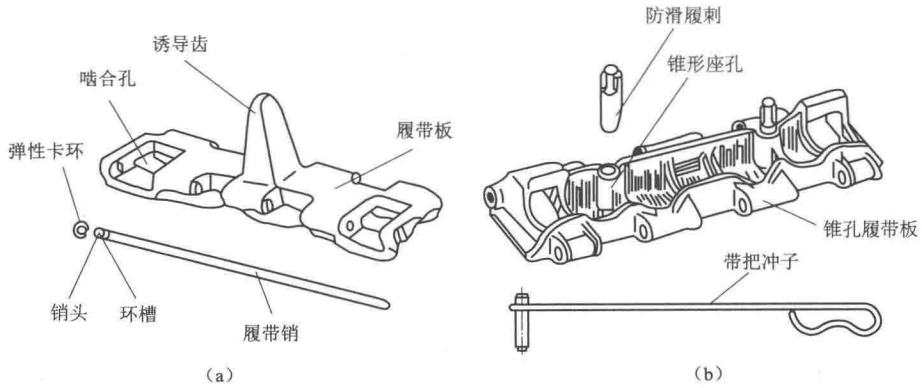


图 9-1-8 金属铰链履带和防滑式履带

(a) 金属铰链式履带；(b) 防滑式履带

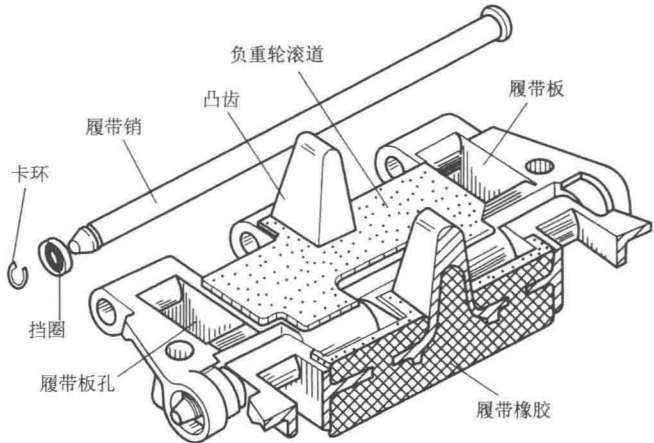


图 9-1-9 挂胶履带

二、托带轮

托带轮的作用是托撑上部履带，并减小其在行驶中的摆动。

托带轮常用安排数和减振状况两种方法来划分类型。按排数分类时，托带轮可以分为单排和双排两种；按减振状况分类时，托带轮又可以分为有减振和无减振两种。图 9-1-10 所示为几种托带轮。

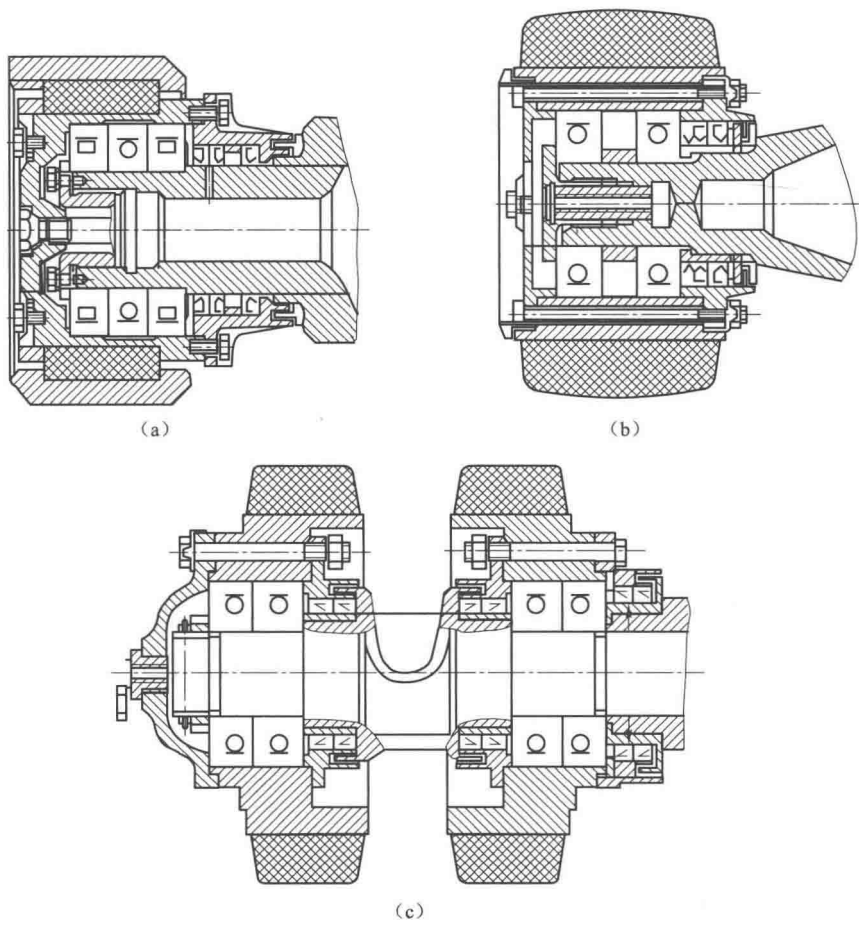


图 9-1-10 托带轮

(a) 内部减振式单排托带轮；(b) 外部减振式单排托带轮；(c) 外部减振式双排托带轮

图 9-1-11 所示为某主战坦克的托带轮图。坦克两侧履带下各有三个托带轮，其中前后两个是内托带轮，中间的一个是外托带轮。该坦克托带轮为内缓冲式单排托带轮，内外托带轮轮体结构相同，仅支座长短不同，结构上由轮毂、轮缘、支座、自紧油封和端盖等组成。

支座用六个螺栓固定在车体上。前后两位置的支座可以互换安装。轮毂通过两个球轴承支撑在支座轴上，并在轴向用螺母和定位销将其固定。靠车体一侧轴承采用迷宫式结构和自紧油封进行密封。轮毂外径上套压着橡胶轮圈和钢质轮缘。

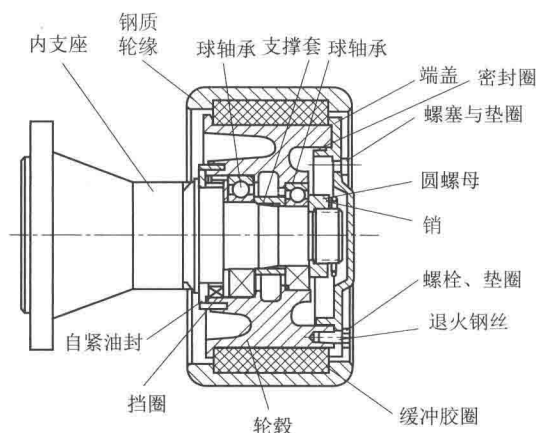


图 9-1-11 主战坦克托带轮

三、诱导轮与履带调整器

诱导轮与履带调整器通常是一个组件，用来诱导履带行进方向并调节履带的松紧程度，所以有时履带调整器又称为履带张紧装置。

诱导轮与履带调整器的安装位置和主动轮的相对。若主动轮在后，诱导轮则在前；若主动轮在前，诱导轮则在后。

调整履带时，诱导轮轴心移动轨迹有的是圆弧（曲臂式），有的是直线（导轨式）。现代军用履带式车辆大都采用曲臂式，导轨式已基本被淘汰。

按照诱导移动方式，履带调整器可分为全手工、手工机械和自动式。自动式采用非人力自动调节，目前已在一些主战坦克中使用。

按执行机构结构形式，履带调整器可分螺杆型、蜗杆型和液压传动型。

（一）蜗杆型履带调整器

蜗杆型结构最紧凑，易于布置，但由于有一个齿处于啮合状态而限制了其传递大载荷的能力。

图 9-1-12 所示为某中型底盘履带式车辆的履带调整器，它由箱体、曲臂、大小铜衬套、O 形密封圈、涡轮及调整垫、锁紧垫圈、锁紧螺母、蜗杆及调整垫、衬套、自锁卡环、箱盖及螺盖组成。

图 9-1-13 所示为某主战坦克用的单蜗杆型履带调整器。履带调整器安装在坦克前部左、右侧的诱导轮支架上，与诱导轮一起调节履带的松紧程度，主要由支架、曲臂（由曲臂轴、曲臂、诱导轮轴三部分组成）、涡轮和蜗杆、螺杆轴套、支承套、摩擦片、橡胶圈、盖等组成。涡轮和蜗杆间为球面啮合，同时啮合的齿数增多，可以承受冲击载荷和履带的张紧力。

蜗杆安装并支撑在支架内的上、下衬套上，在其内螺纹孔中还安装着闭锁用的螺杆。上衬套与螺杆之间装上有环，下衬套下端面与螺杆之间装下有环，衬套与支架之间安装的调整垫则用于调整涡轮和蜗杆的啮合位置。

螺杆下部凸肩的上、下各有一片闭锁用的摩擦片。当用工具转动螺杆时，螺杆带动涡轮

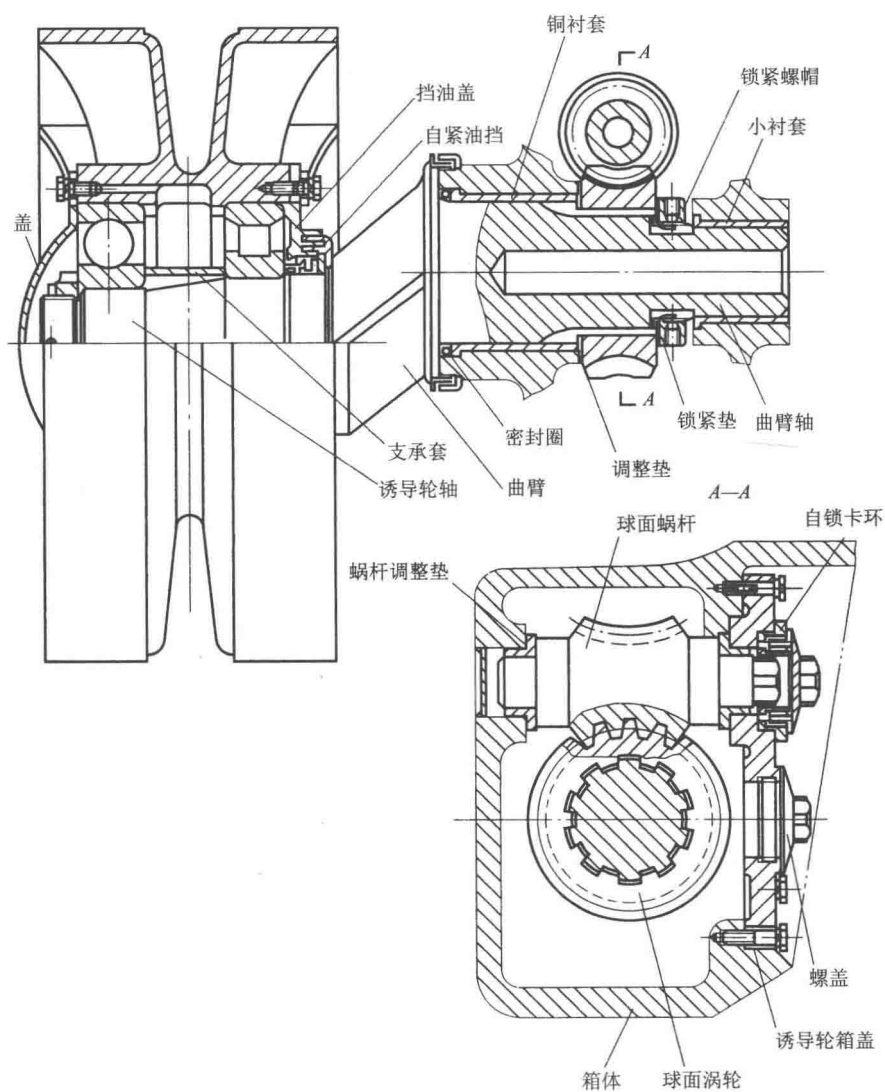


图 9-1-12 某中型底盘履带式车辆履带调整器

旋转，涡轮带动曲臂一起转动，诱导轮也将做前后摆动。诱导轮向车首方向运动是张紧履带，反向是放松履带。

履带松紧调好后，即应锁紧蜗杆。若曲臂上指针在轴套缺口上方，则应顺时针转动螺杆而向下压紧下摩擦片，螺杆螺纹将蜗杆向上压紧上环而实现上锁紧螺杆；若指针在缺口下方，则应逆时针转动螺杆而向上压紧摩擦片，蜗杆向下压紧下环而完成下锁紧蜗杆。

(二) 螺杆型履带调整器

螺杆型结构简单、工作可靠、有自锁能力；但其效率低、占用空间大。

图 9-1-14 所示为摇臂螺杆式履带调整器。摇臂螺杆式履带调整器一般与单轮缘诱导轮配合，用于装甲输送车和步兵战车。结构上螺杆型履带调整器主要由调整螺杆、调整器盖、调整垫、支架、支架盖、摇臂、转轴、大衬套和小衬套等组成。

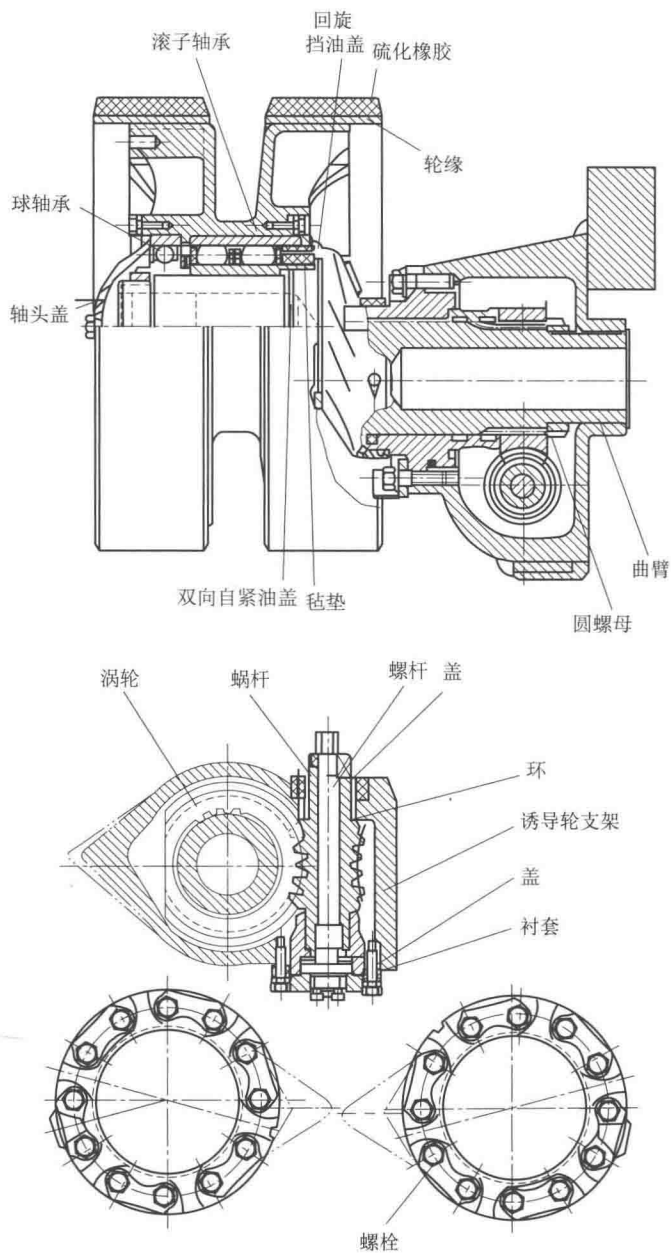


图 9-1-13 某主战坦克用的单蜗杆型履带调整器

调整螺杆的锯齿形螺纹与转轴的螺纹孔相连接。转轴装在摇臂上，调整螺杆应处在摇臂的中间，由调整垫来调整。

（三）液压传动型履带调整器

液压传动型履带调整器调节轻便快捷、容易用压力检查履带张紧力和实现远距离自动调节，但其占用空间很大。

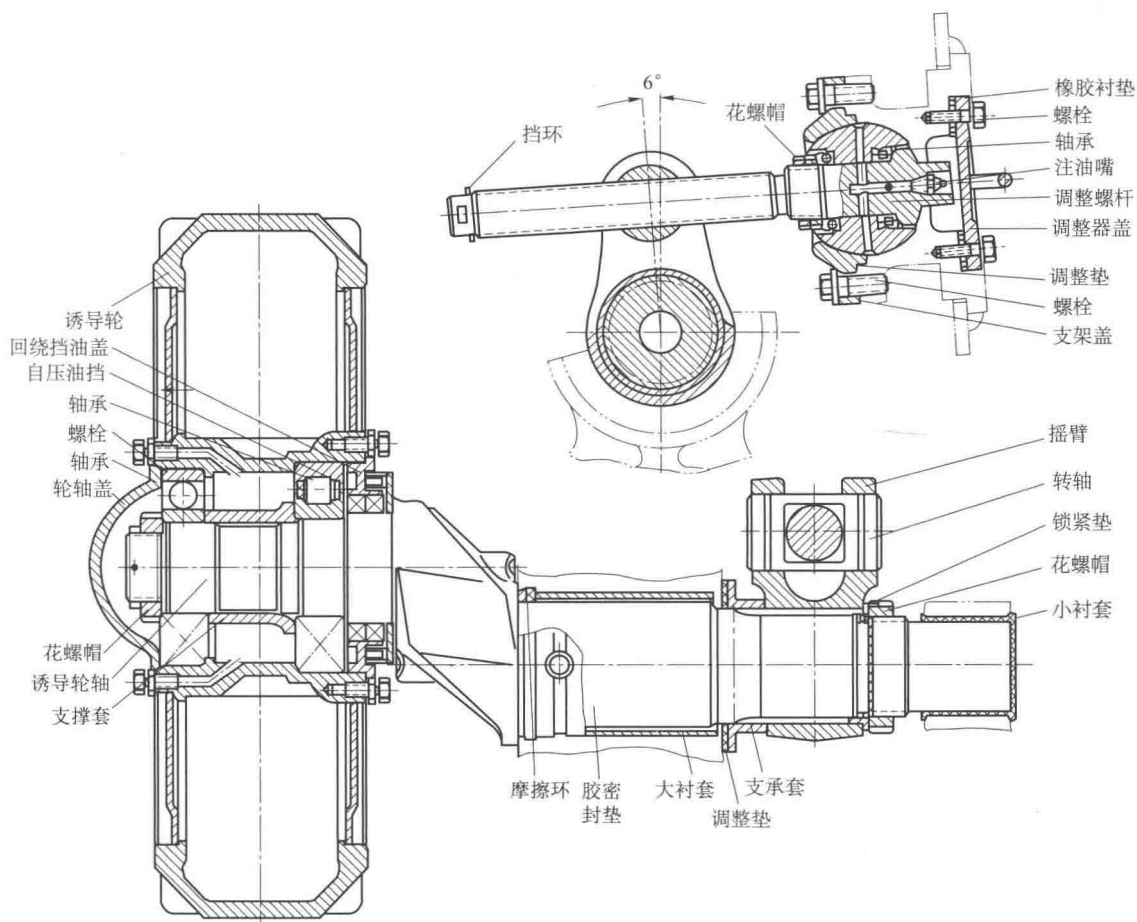


图 9-1-14 摇臂螺杆式履带调整器

图 9-1-15 所示为轻型底盘液压式履带调整器的示意，图 9-1-16 所示为其结构。液压传动型履带调整器由支架、曲臂、密封环、O 形密封圈、滚针轴承、拉臂、螺帽、履带调整器缸筒、管接头、油管等组成。

整体式曲臂分诱导轮轴、曲臂、曲臂轴三部分，曲臂轴一端支撑在支架孔内的两个滚针轴承上。调整垫用来调整轴向间隙，保证曲臂轴转动灵活。

履带调整器是一个双作用的液压缸，大端铰链通过关节轴承挂在车体侧甲板上支座上，铰链座上装有液控单向阀，小端铰链通过关节轴承与拉臂连接。外缸筒一端同大端铰链座焊接在一起，另一端装有带内、外密封的支承套，用螺圈压紧。内缸筒一端同大端铰链座焊接在一起，另一端装有定位环、密封环、密封

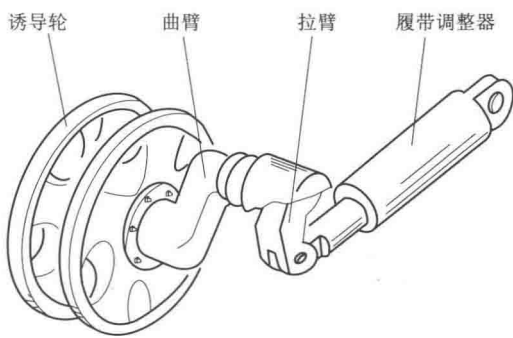


图 9-1-15 轻型底盘液压式履带调整器

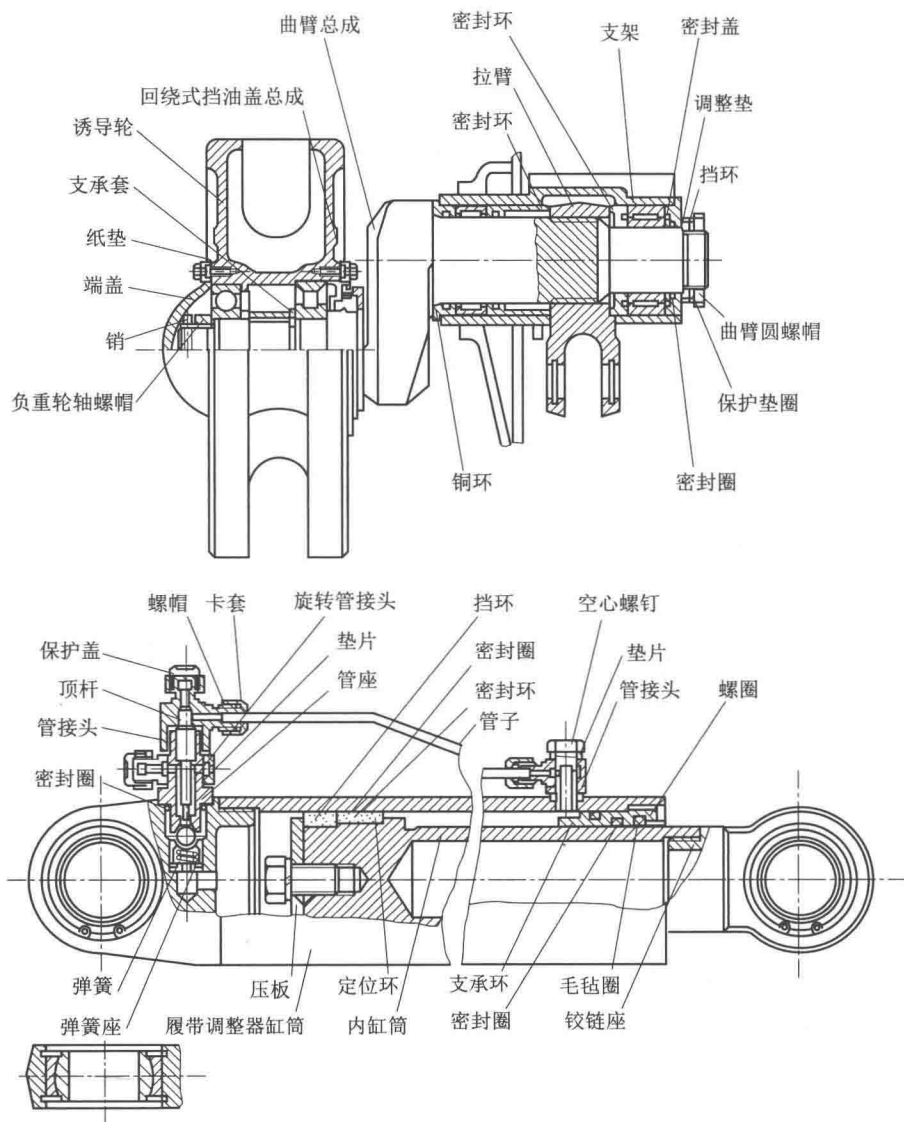


图 9-1-16 轻型底盘液压式履带调整器结构

圈、挡环的活塞，用压板定位。内外缸筒组合后，中间形成两个被活塞隔断的储油空间。单向阀控制液压缸的充放油方向。

张紧履带时，启动油泵，打开张紧开关。此时高压油冲开单向阀，进入缸筒前腔；后腔液压油泄回油箱，内缸筒伸出，拉臂带动曲臂，使诱导轮向后摆动，从而张紧履带。张紧完成后关闭张紧开关，停止供油，则单向阀钢球复位，液压闭锁，履带处于张紧位置。

放松履带时，启动油泵，打开放松开关。此时高压油经放油管推动顶杆，顶开单向阀钢球，使缸筒前腔液压油流回油箱；高压油进入缸筒后腔，内缸筒回缩，拉臂带动曲臂，诱导轮向前摆动，从而放松履带。放松结束后，关闭放松开关，停止供油，则钢球复位，液压闭锁，履带处于放松位置。

四、负重轮

负重轮用来承受车辆重量并规正履带。

负重轮分为单轮缘和双轮缘两种，一般中、重型履带车辆多用双轮缘，轻型车辆多用单轮缘，但现在轻型车辆也逐渐采用双轮缘负重轮。

图 9-1-17 所示为单轮缘负重轮。某主战坦克负重轮为双轮缘负重轮（图 9-1-18），两侧各有六个，其功用是支承车体以上的重量并保证车体在履带上滚动。

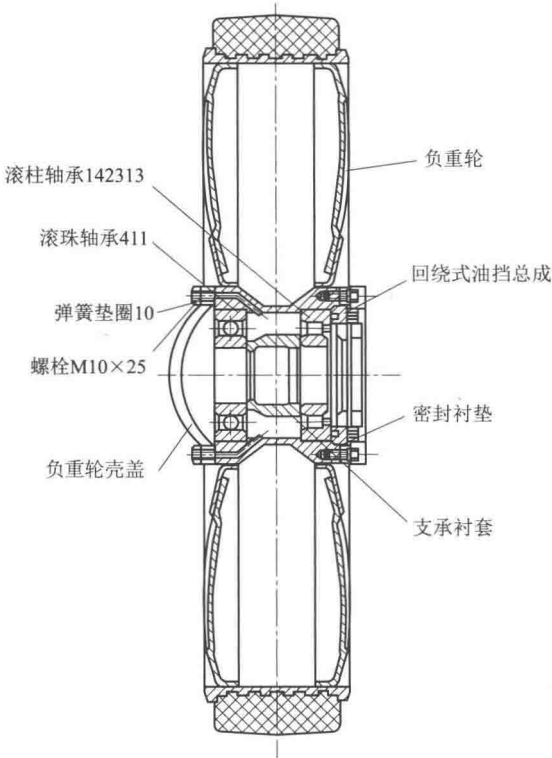


图 9-1-17 单轮缘负重轮

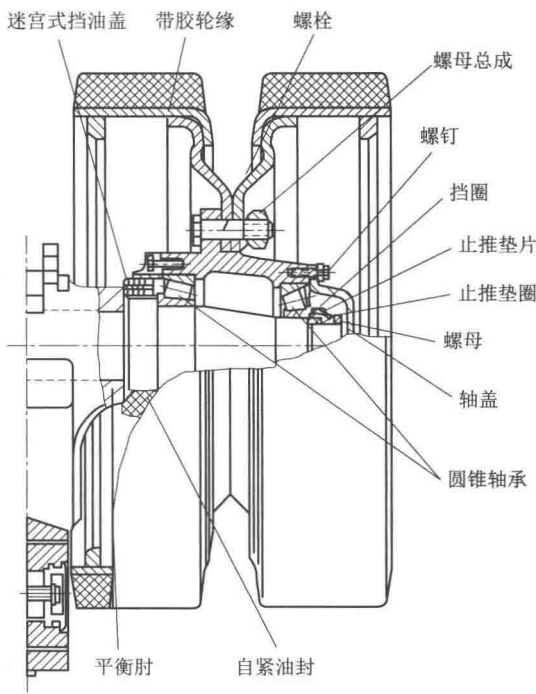


图 9-1-18 双轮缘负重轮

第二节 轮式推进装置

轮式车辆行走系的推进装置主要是车轮与轮胎（图 9-2-1）。

轮式推进装置的作用主要有：

- ① 支撑车重；
- ② 通过驱动车轮与路面的附着作用产生路面对车辆的牵引力；
- ③ 承受并传递制动力矩；
- ④ 确定车辆行驶方向，与悬架共同缓和车辆在行驶时受到的不平路面冲击，并衰减由此产生的振动；

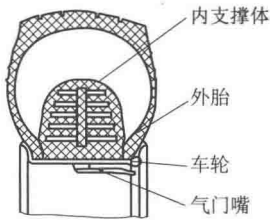


图 9-2-1 车轮与轮胎

⑤ 保证车轮与路面有良好的附着性能。

一、车轮

车轮是介于轮胎和车轴之间的用于承受负荷的旋转组件，通常由轮辋和轮辐两个主要部

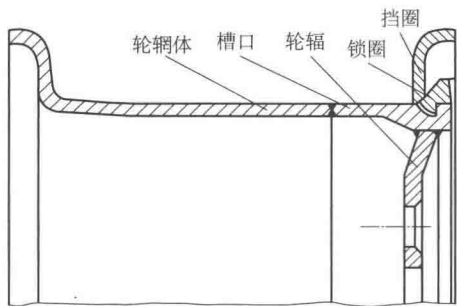


图 9-2-2 车轮总成

件所组成。根据连接部分的构造形式，车轮可分为辐板式、辐条式、对开式、组装轮辋式、可调式、反装式等多种。

我国某 6×6 轮式装甲车车轮属于辐板式，车轮总成包括挡圈、锁圈和轮辐轮辋组合焊接件（图 9-2-2）。

轮辋是由轮辋体和槽口对接组焊而成，槽口外表面上开有锯齿形锁圈槽和用以安装锁圈的定位槽。轮辋体上钻有一个安装气门嘴用的气门嘴孔。

轮辐为一碟形圆环，其周向均布有 10 个固定轮毂的通孔。当轮胎装于轮辋上时，轮胎一侧抵靠在轮辋带凸肩的一端，另一侧由挡圈压紧，挡圈外侧由嵌于轮辋槽口一的锁圈锁紧固定。

二、轮胎

轮胎是车轮直接和地面接触的部件，其主要作用有：

- ① 承受一定的负荷（如载重量、牵引力、制动、振动及离心的阻力）；
- ② 保证与路面有必要的接触面积，防止滑溜，保证车辆良好的越野性能和行驶平稳性；
- ③ 和悬架部分共同吸收车辆行驶时的振动；
- ④ 轮式装甲车轮胎特有的安全防护性能，即当轮胎被枪弹击中后，在无胎压状态下还能继续行驶一定的战术距离，确保战车相应的战场机动和生存力要求。

该轮式装甲车采用无内胎防弹安全子午线轮胎，由外胎、内支撑体和气门嘴等组成（图 9-2-1）。

1. 外胎

外胎由胎冠、胎肩、胎侧和胎圈等组成，由外及内分别是胎面、缓冲层（或带束层）、帘布层、钢丝圈、胎里、气密层等（图 9-2-3）。

外胎的基础是承受负荷的帘布层，由 6 层胶化的钢丝帘线呈子午向排列所叠成，具有必要的强度和弹性，以承受工作时经常出现的弯曲变形。帘布层上是缓冲层，且帘线与胎面中心线夹角较小，相邻层帘线也是交叉排列，可以承担行驶时产生的较大切向力。缓冲层外是胎面，胎面包括胎冠、胎肩和胎侧三部分。胎冠也称行驶面，与路面接触，用于承受冲击与磨损，并保护胎体免受损伤。胎冠部分由耐磨橡胶制成，上面制成人字形块状越野花纹（图 9-2-4），可增加轮胎与路面的附着力。胎肩是较厚的胎冠与较薄的胎侧间的过渡部分，其上的花纹利于散热。胎侧的作用是保护胎体侧部帘布层免受损伤及水分侵蚀。胎侧较薄，不与地面接触，具有良好的耐疲劳性能和耐日光抗老化性能。胎圈的作用是使外胎牢固地装在轮辋上，它由钢丝圈、帘布层边和胎圈包布组成。钢丝圈是胎圈的主体，胎圈包布是保护

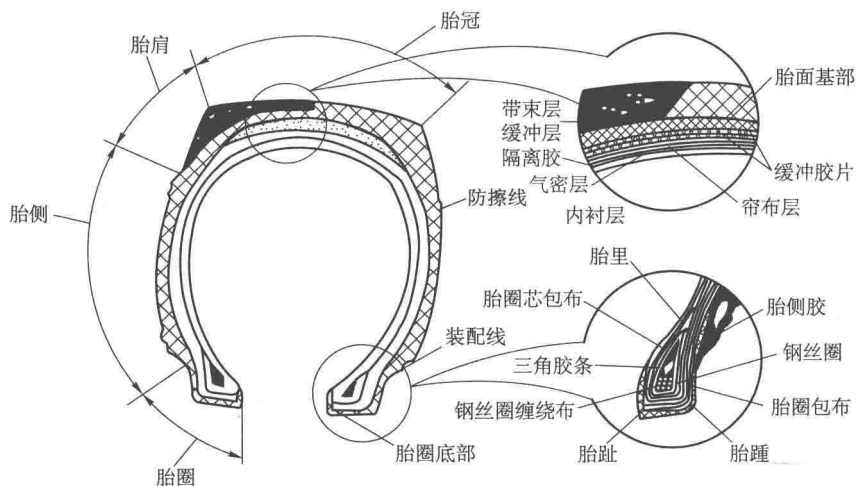


图 9-2-3 外胎部分与部件

包裹钢丝圈的帘布不受轮辋的磨损，避免胎圈内部渗水。

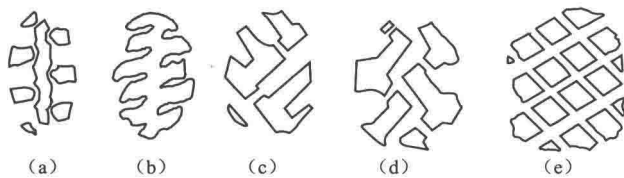


图 9-2-4 胎面花纹

2. 内支撑体

内支撑体在轮胎外胎的内腔中，位于靠近胎圈部位的轮辋上。由专门研制的合成橡胶制成的蜂窝状模型经硫化而成的橡胶芯子，纵断面为多孔状，横断面为横向气室（图 9-2-5）。

内支撑体含有独立的 200~800 个孔、径、长度不等的气室，气室内充高压氮气，且有半数的气室内填有润滑剂，以减少变形摩擦生热。

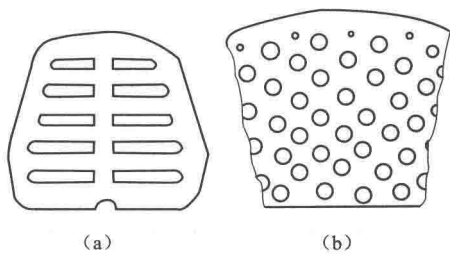


图 9-2-5 支撑体断面
(a) 横断面；(b) 纵断面

整个支撑体有一道环向气道和两道对称的宽度及深度均为 10 mm 左右的横向气道，可使气体沿通气道进入外胎内腔。内支撑体与外胎之间的胎腔可以容纳压缩空气，压缩空气通过轮辋上的气门嘴进入环向气道，再通过内支撑体上两条对应的横向气道充入胎腔。在战场使用时，一旦轮胎的外胎被击穿或被锐物扎破，轮胎可在无胎压的情况下，通过内支撑体来保证车辆以 30~40 km/h 的速度继续行驶 100 km 左右。

3. 气门嘴

图 9-2-6 所示的气门嘴用来给轮胎充、放气，它由气门头、气门杆、密封垫、六角螺母、气门芯、防护帽等零件组成。

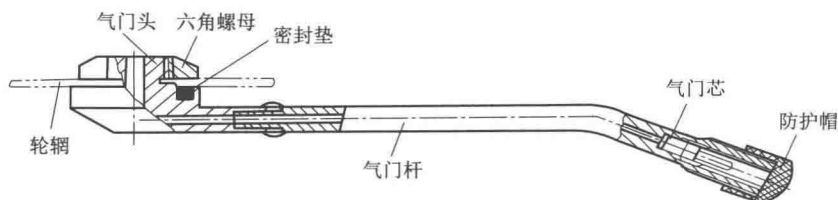


图 9-2-6 气门嘴

气门头和气门杆焊接在一起，中心有一长通孔。气门头底部突缘插入轮辋上的气门嘴孔中，用六角螺母紧固。在气门头的凹槽内嵌有 O 形密封圈，用于防止气门嘴和轮辋贴合平面之间漏气。气门杆的伸出端切有环槽，端口直径增大并加工有螺纹。安装在气门杆伸出端内孔中的标准 TX1 型内弹簧式气门芯（图 9-2-7）用于配合气门嘴来防止轮胎内空气逸出，

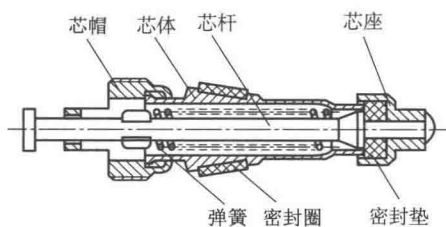


图 9-2-7 TX1 型轮胎气门芯

以及检查、调整轮胎气压的高低。当打气头压下气门芯杆时，气门芯体的下端与芯座分离，气门芯弹簧被压缩在芯体内，空气便从充入轮胎内或反向放出。当松开气门头时，弹簧伸长，芯杆带动芯座回缩并压紧密封垫，以阻止空气的流通，同时，密封圈紧贴在气门嘴壁上，用于防止胎内空气外泄。图 9-2-7 所示的 TX1 型气门芯处于保持气压状态。

第三节 悬挂装置

车辆在高低不平的路面行驶时，地面通过车轮传递给车体的动载荷将会影响车辆行驶的平衡性、操作性、牵引性、零部件强度、使用寿命，以及乘员的持久战斗能力。因此，坦克装甲车辆的车体和车轮之间都连接有各种减振装置。

(1) 履带式车辆

连接车体和负重轮之间的所有零部件总称为履带悬挂装置，其功用都是在车辆行驶中减小并衰减凸凹不平地面在车体以上部分产生的动载荷。

悬挂装置由弹性元件、阻尼元件及连接机构组成。

按载荷传至负重轮的方式，悬挂装置可分为独立式、平衡式和以上两种方式的组合式。现代履带式车辆广泛采用独立式悬挂，即车体分别与负重轮相连。平衡式是将两个以上负重轮安装在同一个机构上的悬挂方式。最早在坦克上使用平衡式悬挂的是法国雷诺 FT-17 型坦克。平衡式悬挂装在车辆外，更换迅速，但影响负重轮行程，目前多用于拖拉机上。

(2) 轮式车辆

连接车架（或承载式车身）与车桥（或车轮）间的装置称为悬架。路面作用于车轮上的垂直反力（支撑力）、纵向反力（牵引力和制动力）和侧向反力以及这些反力所造成的力矩都要通过悬架传递到车架（或承载式车身）上，以保证车辆的正常行驶，并减轻颠簸和振动。

轮式车辆底盘悬架分为两大类：非独立式悬架和独立式悬架。非独立式悬架是左右两侧的车轮装在一个整体式车桥上，车桥通过悬架与车架（或承载式车身）相连接。独立式悬架是每一个车轮独立地通过悬架与车架（或承载式车身）相连接。非独立式悬架结构简单、制造成本低，至今仍然用于许多车体上。

但是，随着车辆行驶速度不断提高，非独立式悬架已不能满足行驶平顺性与操纵稳定性等方面的要求。现代轮式装甲车辆越来越多地采用独立式悬架。

多数结构形式的悬架主要由上述弹性元件、减振器和导向机构三部分组成。这三个组成部分分别起缓冲、减振和导向的作用，而三者的共同任务则是传力。

一、弹性元件与连接机构

弹性元件有金属弹簧和气体弹簧两种，金属弹簧又可分为扭杆弹簧、螺旋弹簧和碟片弹簧，如图 9-3-1 所示。

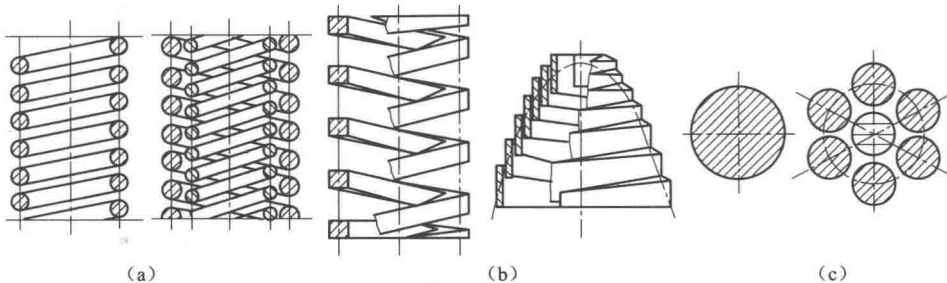


图 9-3-1 金属弹簧

(a) 扭杆弹簧；(b) 螺旋弹簧；(c) 碟片弹簧

碟片弹簧仅在瑞士 PZ61 坦克上使用，其性能并不理想。

老式履带式车辆应用螺旋弹簧较多，较典型的车辆是苏联的 T-34 坦克及英国的奇伏坦坦克。但是因螺旋弹簧在车内所占空间较大，单位质量储存的变形能小，以及需要导向杆、导向套等，所以在现代坦克中已基本淘汰，目前仅在以色列梅卡瓦 mk3 坦克上组合使用。现在螺旋弹簧主要应用于轮式车辆。

扭杆弹簧在现代主战坦克上应用最多，其结构简单、工作可靠、质量小、占用车内空间小。

气体弹簧是通过密闭容器中的高压气体（一般采用氮气）受压缩时吸收能量起缓冲作用的原理来实现的。气体弹簧又称为油气悬挂，其良好的非线性提高了悬挂性能。油气悬挂装置最早用于 1960 年定型的瑞典 S 型坦克，作用是给固定在车体上的火炮提供射角。其后的日本 74 式坦克的油气悬挂则用来变换车高，以提高越野性能。现代坦克中的英国“挑战者”、法国“勒克莱尔”、俄国“T-80”、日本“90 式”、韩国“88 式”等主战坦克均有采用油气悬挂装置。我国的一种新型突击车和自行火炮即采用油气悬挂。

钢板弹簧和橡胶弹簧用在汽车和一些机构中。

(一) 扭力轴悬挂装置

扭力轴悬挂是一种技术最成熟、成本最低、各国采用最多的悬挂装置。随着高强度扭杆的发展，其性能已接近油气悬挂装置。

扭力轴按照结构可分为单扭力轴、双扭力轴和束状扭力轴。

单扭力轴结构最简单，应用最广泛。其长度贯穿整个车宽，因此，悬挂装置的刚度及切应力较小。

双扭力轴包括两根实心或一实一管同轴式两种结构。德国 T-V 坦克曾采用过双扭杆悬挂来提高平稳性，但其结构较为复杂。

束状扭力轴由一束细而短的扭力轴组成。扭力轴应力较小，可用于大负重轮行程和大扭转角的工作条件下。苏联重型坦克 T-10M 采用过束状扭杆，其断面如图 9-3-1 所示，但这种结构占车内体积较大。

扭力轴悬挂由扭力轴、缓冲器、平衡肘、减振器及连接机构组成。

某主战坦克悬挂装置为独立扭杆式，由不等刚度的扭力轴、弹性缓冲器、平衡肘总成和摩擦式减振器等组成（图 9-3-2）。弹性缓冲器和摩擦减振器仅装在每侧一、二、六负重轮处。

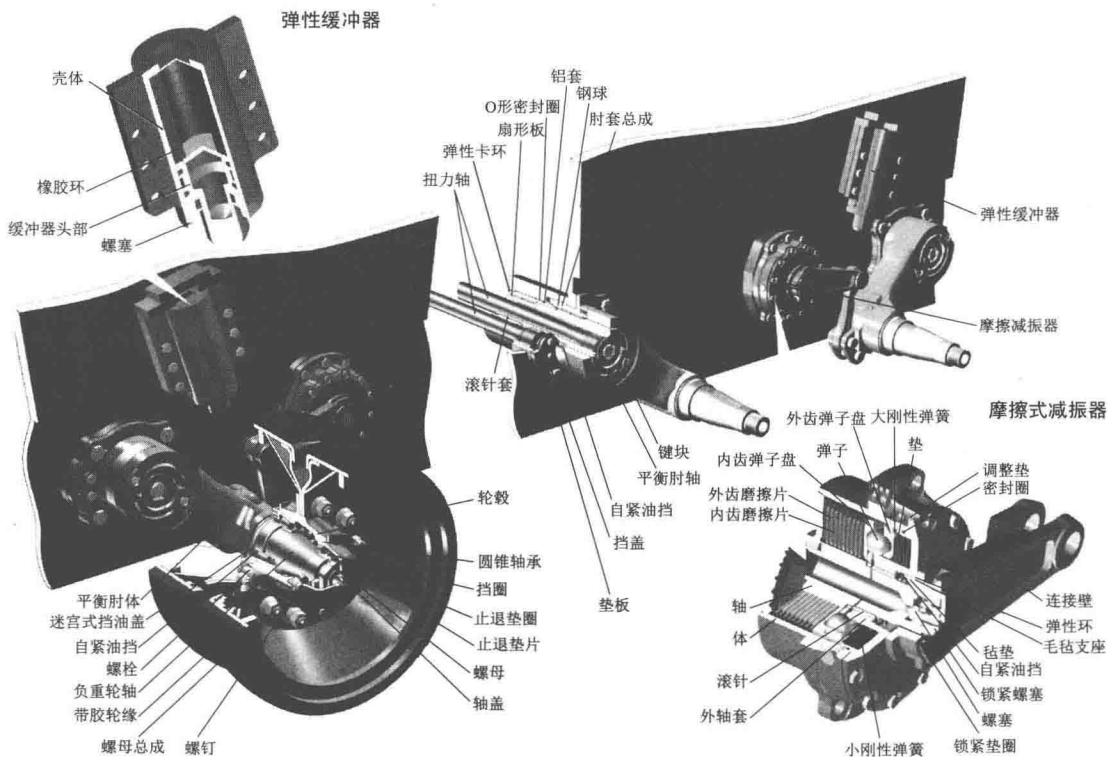


图 9-3-2 某主战坦克悬挂装置

1. 扭力轴

钢制杆状的扭力轴是悬挂装置中的弹性元件。当地面冲击力使负重轮、平衡肘带动扭力轴扭转时，利用扭力轴的扭转变形达到衰减振动、提高行驶平顺性和乘坐舒适性的目的。

扭力轴两端加工有花键，长花键一端与平衡肘的内花键相连，短花键一端插入车体另一侧的平衡肘肘套花键锥孔内（图 9-3-3）。

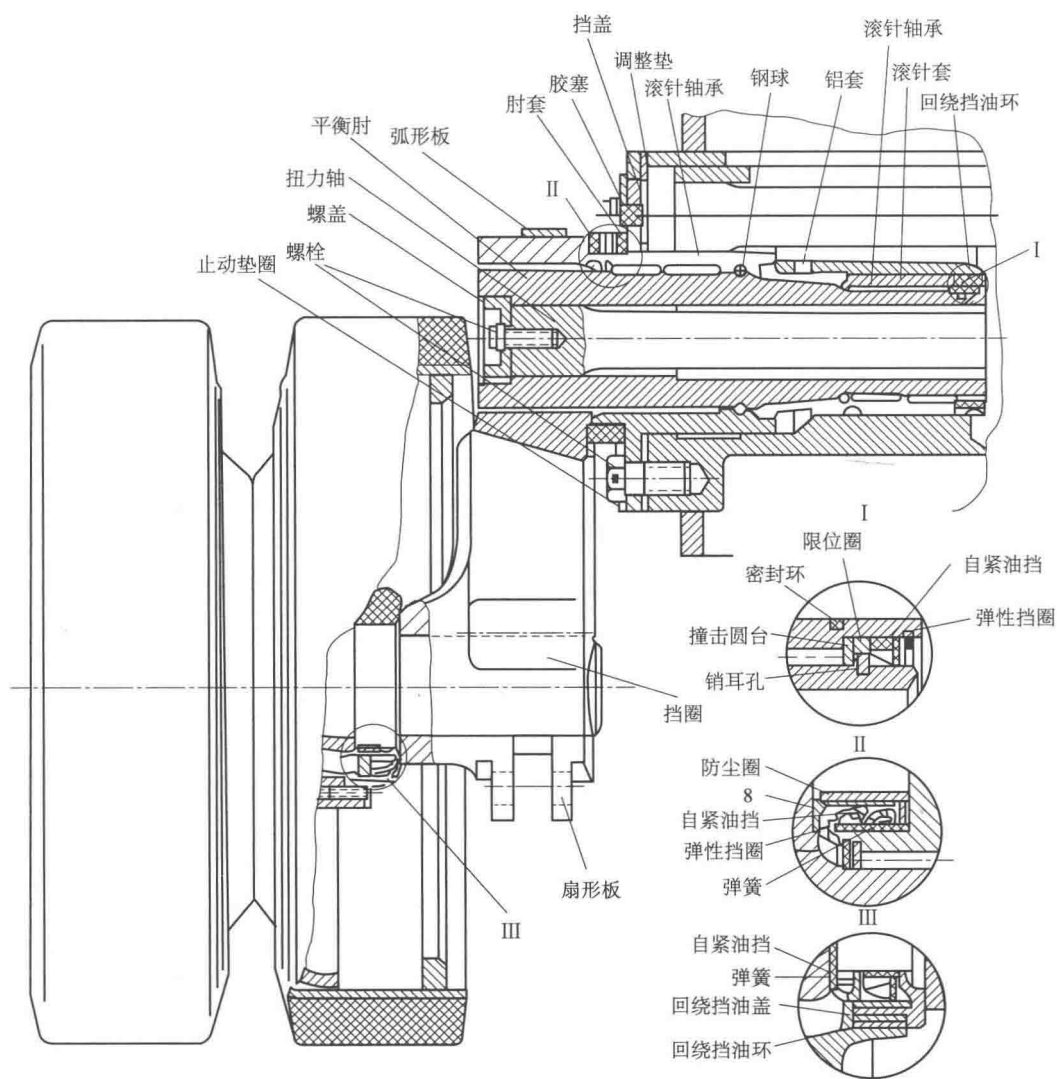


图 9-3-3 带负重轮的平衡肘与扭力轴

由于车辆第一、二、六负重轮的悬挂装置所受的冲击载荷较大，故采用较大直径的扭力轴；左右侧三、四、五平衡肘内均安装小直径的扭力轴。左侧第一、二平衡肘内扭力轴可以和右侧第六平衡肘内扭力轴互换，扭力轴端标有标记“L”；右侧第一、二平衡肘内扭力轴可以和左侧第六平衡肘内扭力轴互换，扭力轴端标有标记“R”。扭力轴的安装角调整标记分别刻在侧面车体和缓冲器壳体上。

粗细两种扭力轴仅轴径不同，两端对应花键尺寸相同。

2. 平衡肘总成

平衡肘总成包括平衡肘、负重轮、肘套、滚针套、密封装置等，其结构如图 9-3-4 所示。

平衡肘用于连接负重轮和扭力轴，由平衡肘体、平衡肘轴和负重轮轴压配而成。平衡肘轴通过滚针轴承支撑在肘套上，其内花键与扭力轴相连。装在肘套和平衡肘轴之间的钢球用

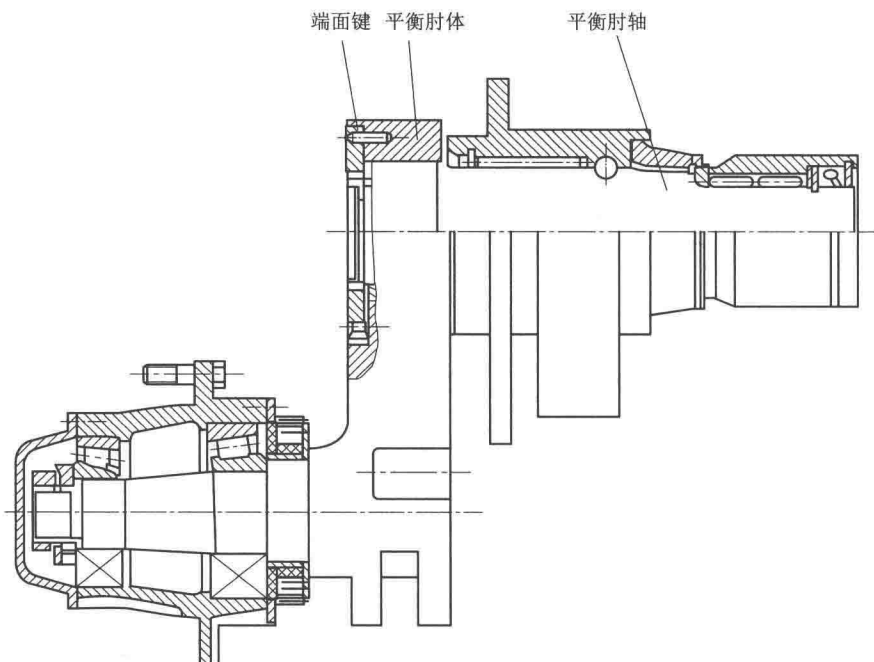


图 9-3-4 平衡肘总成

来限制平衡肘的轴向移动。平衡肘上焊有防尘圈和回绕挡油环，并在一、二、六平衡肘体上加有撞击用圆台和连接减振器拉臂的销孔。

第二、六平衡肘之间，以及第三、四、五平衡肘之间可以互换，并且第一平衡肘可代替第二、六平衡肘，第一、二、六平衡肘也可以代替第三、四、五平衡肘。

肘套通过四个螺栓固定在车体平衡肘支架上。肘套上花键孔用于安装由车体另一侧插入的扭力轴，孔外端挡盖中心用一通孔打出扭力轴。轴套上光孔则用于安装平衡肘。在肘套上还有两个拆卸平衡肘用的螺纹孔。

滚针套用防尘圈、限位圈和三个扇形板固定在平衡肘上。平衡肘内滚针轴承及定位钢球的润滑是通过平衡肘支架上的注油孔向平衡肘内加注二号坦克润滑脂来实现的。

第一对负重轮的平衡肘体前下部焊有弧形板，以防固定螺栓头部及防尘圈在车辆运动中被履带打伤。

扭力轴的扭转角度按刻在缓冲器壳体上的“+”字标记进行调整，第三、四、五扭力轴的调整标记直接刻在车体侧面。

3. 缓冲器

缓冲器和限制器的作用是限制平衡肘向上旋转的角度，限制扭力轴的扭转角度，防止扭力轴因转角过大而损坏，同时对平衡肘与车体之间的冲击起到缓冲作用。

缓冲器的主要类型有橡胶缓冲器、液压缓冲器和弹簧缓冲器。在第一代装备上一般既有缓冲器又有限制器，在第二、三代装备上缓冲器既能起到缓冲作用又起限制作用。

(1) 橡胶缓冲器

橡胶缓冲器（图 9-3-5）是内装多片弹性橡胶的缓冲元件，由壳体、橡胶环、活塞和螺塞组成，并用螺栓固定在侧甲板上。

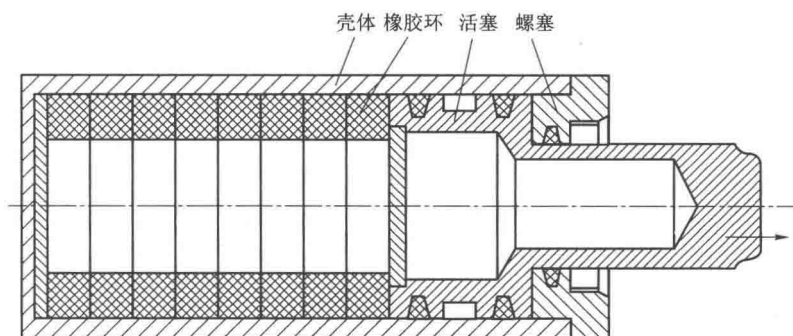


图 9-3-5 橡胶缓冲器

当平衡肘因负重轮向上运动而产生转动时，平衡肘上的撞击圆台首先接触缓冲器头部并压缩橡胶环而起到缓冲作用；若负重轮行程很大，撞击圆台将撞击缓冲器的头部端面，从而避免因转角过大而损坏扭力轴。

(2) 液压缓冲器

液压缓冲器（图 9-3-6）由缸筒、活塞等部分组成，是一个单向作用的液压减振器，它在平衡肘撞击减振器时开始起作用。

缸筒固定在侧甲板上，中心部分装有回位弹簧及导向套。缸筒的外部通过上、下两个卡箍固定着橡胶套和下端密封环，密封环上方固定着支承环。

活塞下部带有长撞杆，由于平衡肘与缓冲器相撞时的运动轨迹为一段圆弧，所以活塞与缸筒的内壁配合面略成腰鼓形。在活塞上还装有钢球单向阀并有常通孔。密封环起着密封工作油与泥水的作用，同时也是活塞的一个弹性支点。

为了防护，液压缓冲器外边还用螺栓固定一块护板。

当负重轮遇到猛烈冲击向上运动，带动平衡肘向上到与活塞下部相撞时，活塞向上运动，活塞上部空间（工作油腔）的油液沿活塞上的常通孔流向橡胶套与缸筒之间的空间（补偿油腔），而单向阀是关闭的。直径很小的常通孔对油液形成很大的阻力。补偿油腔上部的空气被压缩，气压增大。回位时，在回位弹簧的作用下，活塞向下运动，单向阀打开，油液经过常通孔和单向阀流回工作油腔。这种液压缓冲器可以吸收大量的能量。液压缓冲器由缸筒顶部中心处加油孔加注工作油液。

(二) 油气悬挂装置

油气悬挂装置是一种利用密闭容器内的高压气体作为弹性元件的悬挂装置，其工作原理是控制动力机构和蓄气筒之间的液体流量来实现减振功能，工作特性介于纯气体和纯液体悬挂之间。

油气悬挂装置的特点是具有良好的非线性特性，其刚度随负荷的增加而增加；可以提供较大的负重轮行程；易于实现车高、俯仰、倾斜等姿态的调整；布置在车外并将弹性与阻尼元件制成一体，便于加工、总体布局且拆装调试方便；可改善火炮射击的平稳性，实现可控悬挂。

按油缸形式，油气悬挂装置可分为筒式和叶片式；按油缸与气室的关系，可分为整体式和分置式，前者的油缸和气室做成整体的，后者的油缸和气室则做成分开的；按缸筒固定与

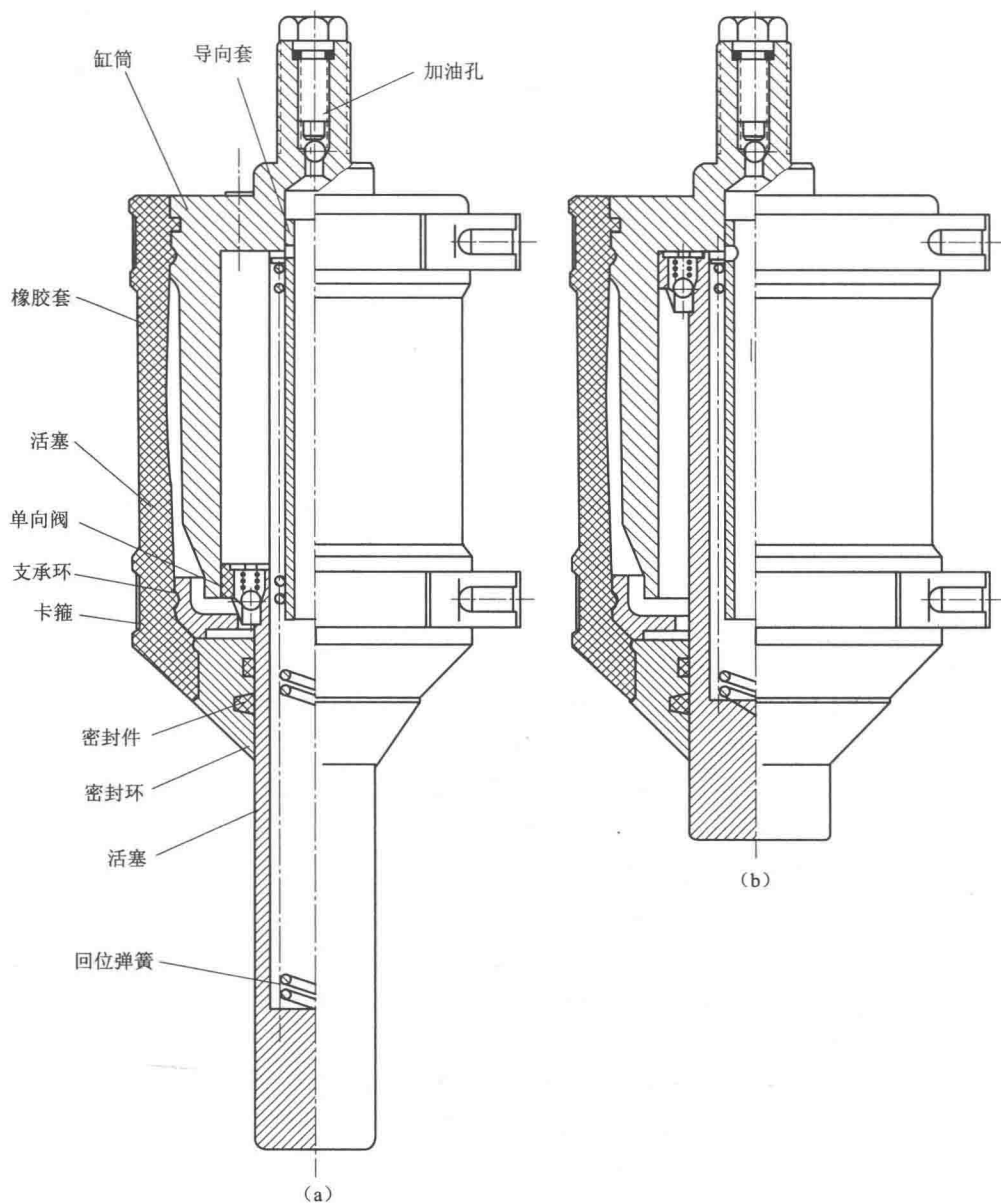


图 9-3-6 液压缓冲器

(a) 未工作位置；(b) 刚性冲击位置

否，可分为固定缸筒式和摆动缸筒式，前者缸筒与车体固定，后者缸筒可相对于车体摆动；按对车体高度能否调节，又可分为可调式与不可调式。

按工作原理可分为简单筒式油气悬挂、双气室油气悬挂、具有反压力室油气悬挂。

1. 油气悬挂工作原理

(1) 简单筒式油气悬挂基本工作原理

简单筒式油气悬挂的结构特点是只有一个气室。

图 9-3-7 所示即为简单筒式油气悬挂。蓄压器和动力缸是油气悬挂装置的主要部件。

蓄压器（气室）的浮动活塞右端通过充气阀充入高压氮气，左端油腔与动力缸的油腔相通，浮动活塞用来隔离油液与氮气，防止油中混入氮气而使油乳化。

当负重轮受到地面冲击而向上运动，迫使平衡肘向上运动时，主活塞随着向上运动，油液压向浮动活塞，气室中氮气被压缩，体积缩小、压力增大，从而吸收负重轮向上的能量，起到了缓冲作用；当负重轮向下运动时，氮气膨胀，油液被压回油缸，主活塞被推动向下运动，氮气释放能量，其作用相当于一个刚性可变的弹性元件。

有些蓄压器在油气间装有橡皮隔膜以代替浮动活塞，防止油气混合。

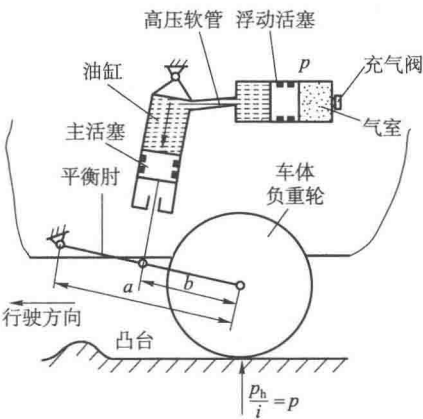


图 9-3-7 油气悬挂工作原理图

在油液往返的通道上（动力缸或蓄压器内）设置一个常通孔和阻尼阀，油液往返运动通过阻尼阀产生阻尼作用，其作用与液压减振器的相同（图 9-3-8）。带阻尼阀的油气悬挂装置起到了气体弹簧和减振器的双重作用，无须另设单独减振器；又由于气体可压缩，气室可起补偿作用，故可省去通常减振器中的补偿室、吸入阀与排出阀，从而简化结构。

整体式筒式油气悬挂如图 9-3-9 所示，其特点是只有一个气室。

简单筒式油气悬挂的缺点是：当气室初始容积不大时，随着负重轮行程的加大，气体压力急剧上升，使密封困难，能容量也减小；当气室初始容积大时，初始刚性过小，静行程偏大。此外，当承载量有变化时，空载和满载的车身高度变化较大。

(2) 双气室油气悬挂基本原理

双气室油气悬挂也称二级压力腔式油气悬挂。

图 9-3-10 所示为分置式双气室油气悬挂，两个气室中一个为低压气室（在蓄压器上），一个为高压气室（在动力缸主活塞的内腔）。

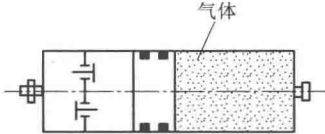


图 9-3-8 带阻尼阀的筒式蓄压器

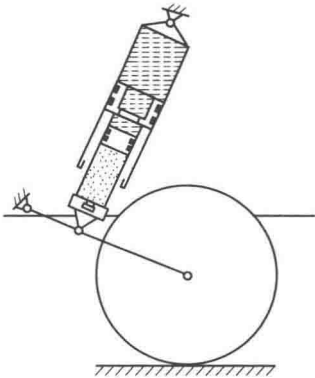


图 9-3-9 整体式筒式油气悬挂

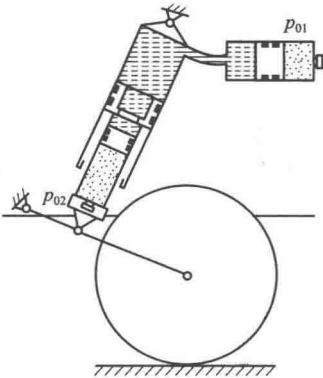


图 9-3-10 分置式双气室油气悬挂

当负重轮行程不大时，动力缸顶部油腔油压不大，即低压阶段，此时仅有低压气室工作。

当负重轮行程增大时，动力缸顶部油腔油压增大，即高压阶段，此时低压气室和高压气室共同工作。当载荷较小时，只利用低压气室弹性；当载荷较大时，增加高压气室的弹性成分，因此压缩行程大大减小。这样，当冲击变化较大时，悬挂静挠度可控制在较小范围内，车辆空载与满载时车身的高度变化较小，同时位能储备也较大。

双气室式也可制成整体式油气悬挂。

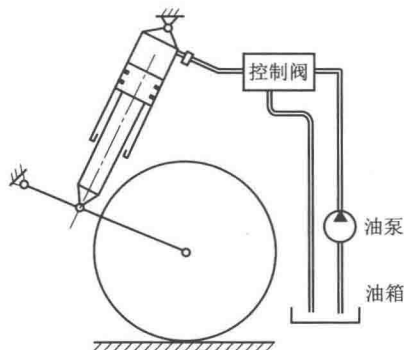


图 9-3-11 可调式油气悬挂原理

(3) 可调式油气悬挂

如果采用一个高压油泵，可以通过控制阀将油液充入油缸或自油缸将油液泄回油箱（图 9-3-11），从而控制车体的上升或下降。如果将装甲车辆所有的负重轮分成前、后、左、右四组，每组分别设置一个控制阀，当控制阀以不同组合工作时，可以实现车体的升降、俯仰、倾斜，这种悬挂称为可调式油气悬挂。

如果在图 9-3-7 所示油缸、气室间油液往返的通道上设置另一个控制阀（图 9-3-11），通过控制该阀来切断油液的往返通道，使油缸实现液压闭锁而变成刚性悬挂，则可消除悬挂弹性变形对武器发射精度的影响。

2. 某轻型自行火炮底盘悬挂装置

某轻型自行火炮底盘左（右）第 1、6 负重轮采用油气悬挂，左（右）第 2、3、4、5 负重轮采用扭杆混合式悬挂（图 9-3-12）。悬挂装置由平衡肘、平衡肘支架、动力缸、蓄压器、扭力轴、限制器、动力油箱、电磁阀等组成。

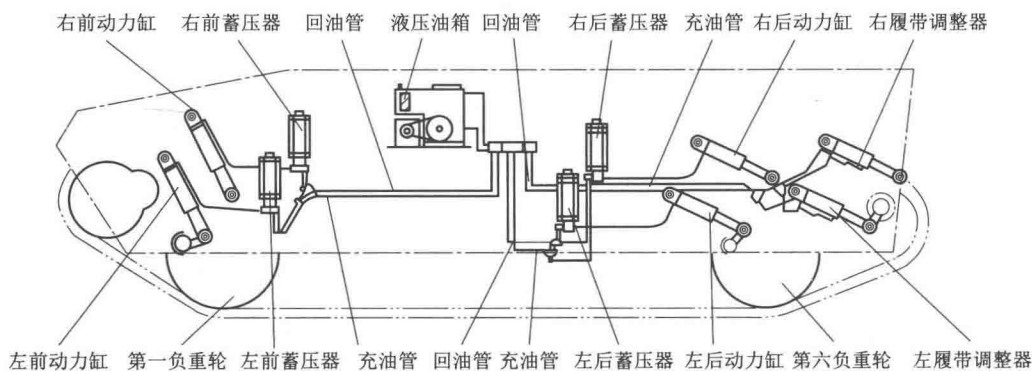


图 9-3-12 悬挂装置

(1) 平衡肘与平衡肘支架

平衡肘有两种，共 12 件，用来连接负重轮与动力缸或扭力轴。

左（右）第 1、6 平衡肘共 4 件，由平衡肘轴、平衡臂、负重轮轴经压配、焊接组成。平衡肘轴上有花键，与支承套组合装入支架，并用螺栓固定（图 9-3-13）。

左（右）第 2、3、4、5 平衡肘共 8 件。平衡肘轴是空心的，轴一端的孔有花键，与扭

力轴大头花键相啮合，并装有密封圈和挡油环，以限制扭力轴轴向窜动和防止泥水进入轴内，与支承套组合装入支架，用螺栓固定（图 9-3-14）。

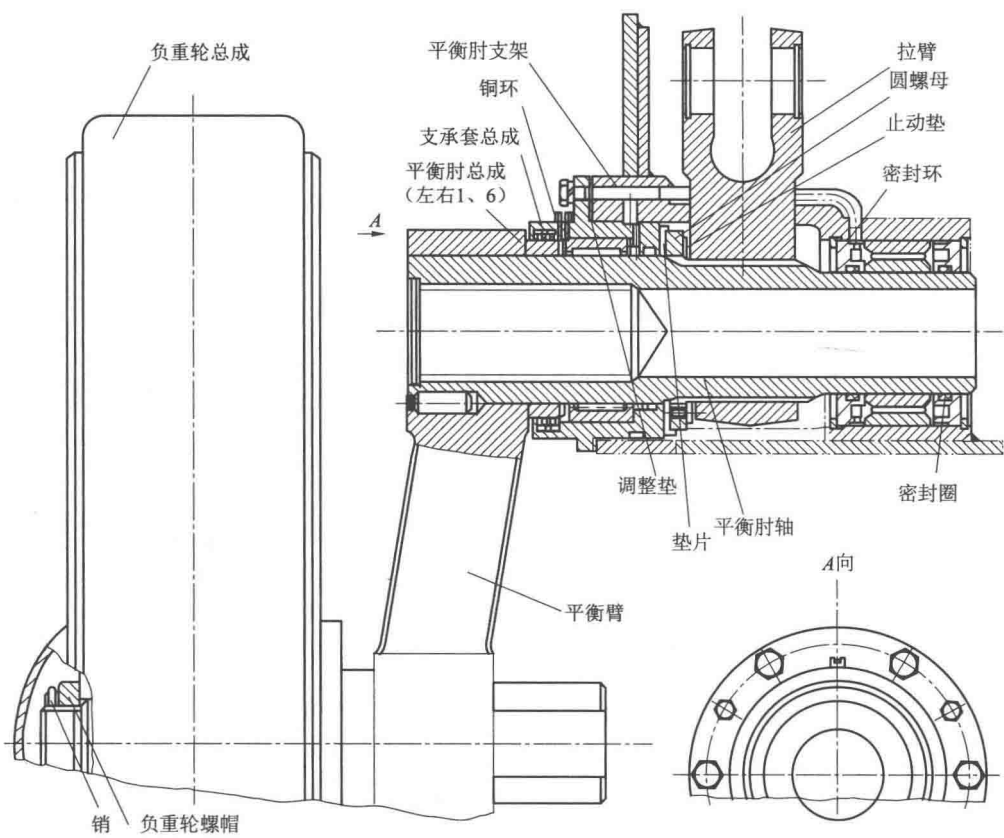


图 9-3-13 第 1、6 平衡肘

在所有的平衡肘支承套与支架之间均装有调整垫，用以调整两侧履带中心距。平衡肘支架也分两种，共 12 个，均焊在车体上，分别用来安装平衡肘和扭力轴。油气悬挂的 1、6 平衡肘支架中部开有缺口，用以限制拉臂的转动范围。扭力轴的 2、3、4、5 平衡肘支架小端外表面并列焊有扭力轴小端支架。

(2) 支承套

两种平衡肘均装同一种支承套，其内腔中依次装有 O 形圈、滚针轴承、耐磨垫圈及 O 形圈与聚四氟乙烯组成的同轴密封装置，套入平衡肘后，用圆螺帽紧固并调整轴向间隙，再用带齿垫圈锁紧。

(3) 动力缸

动力缸共 4 件，均为单作用油缸（图 9-3-15），它是第 1、6 负重轮的油气悬挂的主要部件，用来承受底盘重力和传递冲击负荷。动力缸两端铰链座均装有关节轴承，其大端连接车体，小端连接拉臂。内缸筒一端装有定位环与挡环，中间有同轴密封圈，另一端有导向套，用螺圈固定。大端管接头与蓄压器相连，形成高压油通道，前动力缸与后动力缸仅管接头朝向不同，其余均相同。

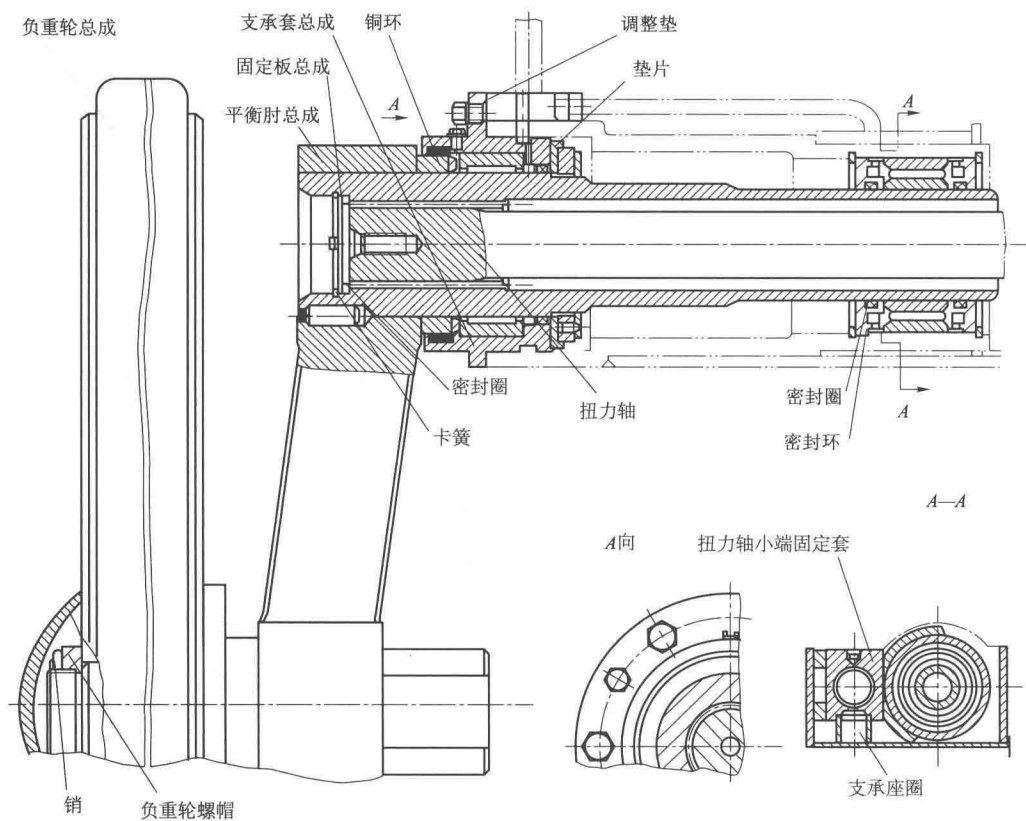


图 9-3-14 第 2、3、4、5 平衡肘

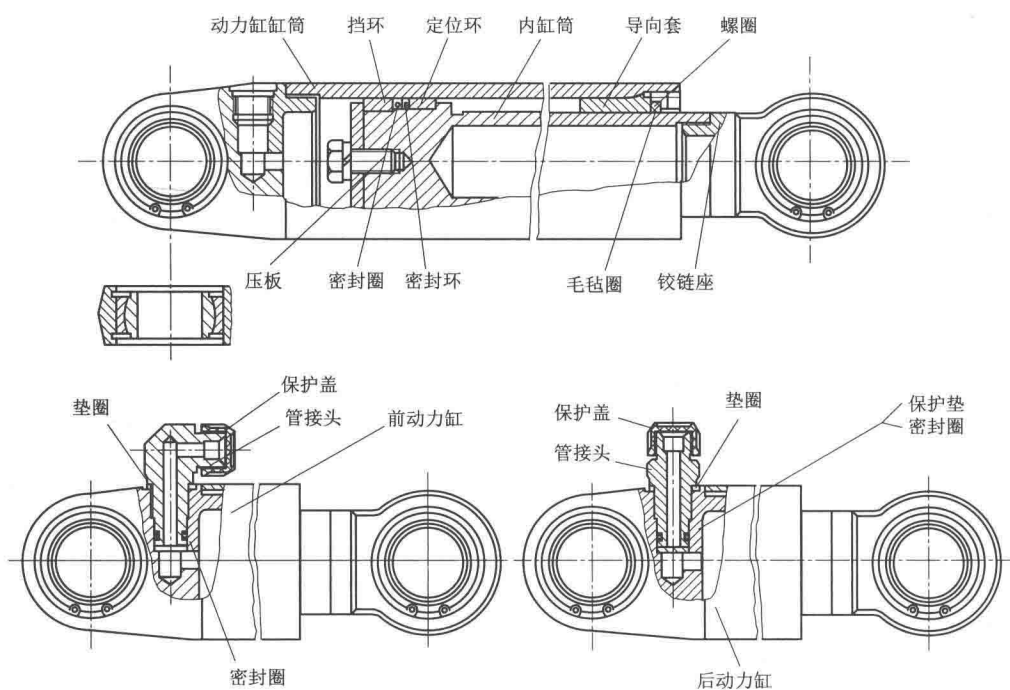


图 9-3-15 动力缸

(4) 蓄压器

蓄压器(图9-3-16)共4件,仅在第1、6负重轮的油气悬挂处安装。蓄压器装在冷却固定座内,固定在车体侧甲板支座上。冷却套内防冻液与侧甲板外的散热器连通。缸筒内腔被浮动活塞分隔为高压油室与高压气室。浮动活塞两端装有支承环,中间装有两个密封圈,内腔装有特种润滑脂,润滑脂通过小孔改善密封圈的润滑。高压油室一端与动力缸相通,另一端经液控单向阀与控制油路相通。高压气室一端经充气阀充入高压氮气,形成气体弹簧。

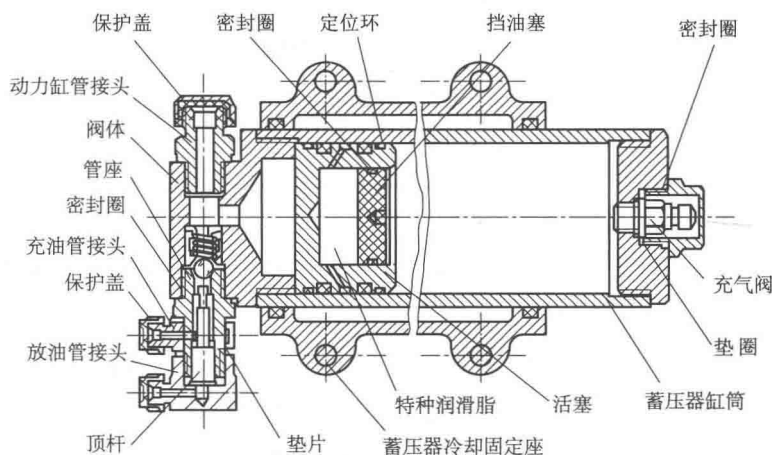


图 9-3-16 蓄压器

充油时,高压油冲开液控单向阀的钢球,充入蓄压油室,推动浮动活塞从而压缩氮气;同时流向动力缸,推动内缸筒外伸,拉臂带动平衡肘转动以升起车体;当升至规定车底距地高后,停止充油,钢球复位,形成液压闭锁,油压与气压处于平衡状态。放油时,高压油经放油管路推动顶杆,顶开钢球,然后经充油管路泄回油箱,接着氮气膨胀,车体下落;停止放油后,钢球复位,又形成液压闭锁。

(5) 电磁阀

电磁阀为三位四通阀,用于控制油气悬挂供油系统的工作状态(图9-3-17)。当打开充(放)油开关时,对应电磁铁工作,高压油即从对应充(放)油出口输出,另一出口变为液压系统回油路;当充(放)油开关处于中间位置时,高压油不能输出,充(放)油出口均与回油路连通。

(6) 液压油箱

液压油箱是油气悬挂系统的液压源,由齿轮泵、皮带轮、三角皮带、直流电动机、定压阀、箱体等组成(图9-3-18)。油箱内装有特种液压油,直流电动机由随车蓄电池供电。定压阀用于限制最大输出压力。

(7) 扭力轴

扭力轴共8根,分左、右两种,分别装在左、右两侧的第2、3、4、5平衡肘内,用来减轻底盘在运动时地面对车体的冲击。扭力轴的两端均有花键,小端作为固定端,经一侧平衡肘轴孔插入另一侧平衡肘支架花键套的孔中;大端与平衡肘轴内花键按规定安装角啮合。两端花键齿数不同,用以调整安装角。

车辆在行驶中遇到凸起的障碍物,致使第1、6负重轮被顶起时,动力缸内缸筒回缩,

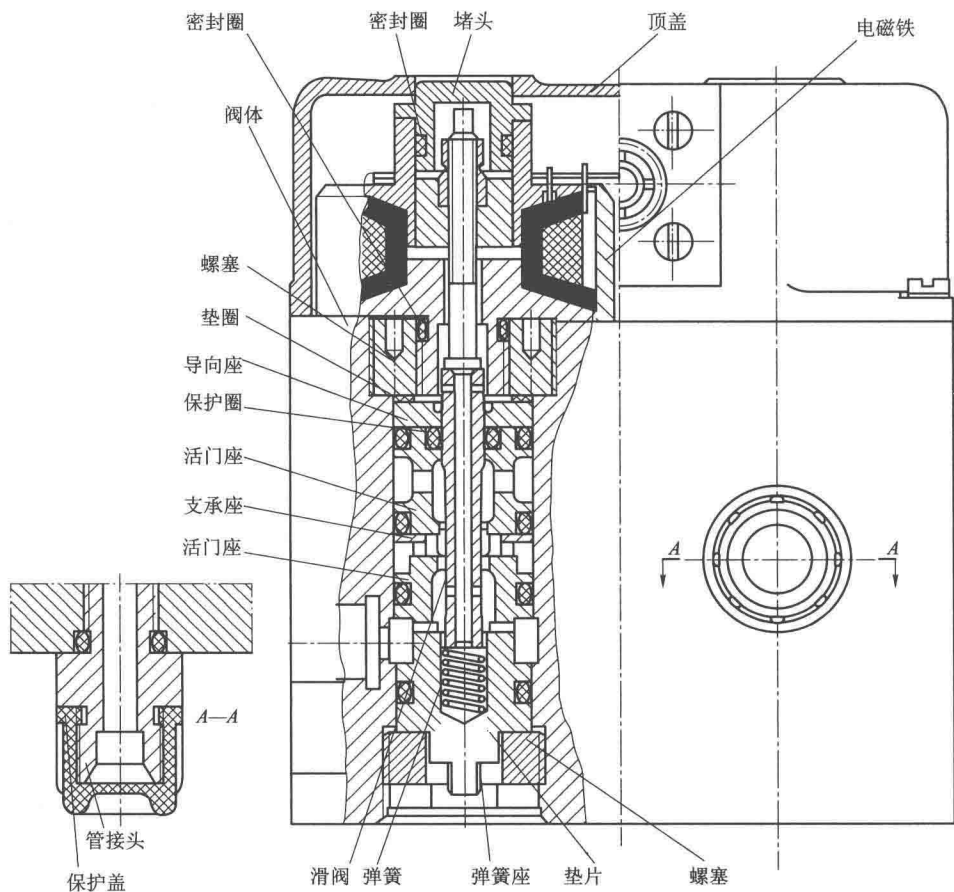


图 9-3-17 电磁阀

高压油推动蓄压器内浮动活塞，浮动活塞压缩氮气，氮气吸收能量，从而减缓了对底盘的冲击。当负重轮越过障碍下落时，氮气膨胀，释放能量，从而推动浮动活塞，高压油迫使动力缸内筒外伸，使下落负重轮压向履带，保持履带与地面的良好接触。在氮气压缩-膨胀过程中，高压油在动力缸与蓄压器之间高速流动，在经过缸油管、管接头等处产生阻尼而吸收了部分能量，从而使车体震动很快衰减。

当第 2、3、4、5 负重轮驶过凸起的障碍物时，扭力轴扭转，吸收冲击能量，从而缓和了对底盘的冲击；当负重轮越过障碍下落时，扭力轴回转，释放此前吸收的冲击能量，使下落负重轮压紧履带，避免车体摔落，同样缓和了冲击。

当转到与限制器接触时，平衡肘不再转动而是直接推动车体，以保证动力缸不超过工作行程，同时，扭力轴不因扭转角度过大而损坏。

油气悬挂的特性是非线性的，随着负重轮行程增大，悬挂刚性也增大。扭力轴悬挂特性是线性的，不随负重轮行程的变化而变化。

油气悬挂兼有缓冲与减震两种功能，完全能够满足自行火炮行驶要求。

（三）轮式车辆独立悬架

轮式车辆独立悬架中多用螺旋弹簧和扭杆弹簧作为弹性元件，很少使用钢板弹簧和其他

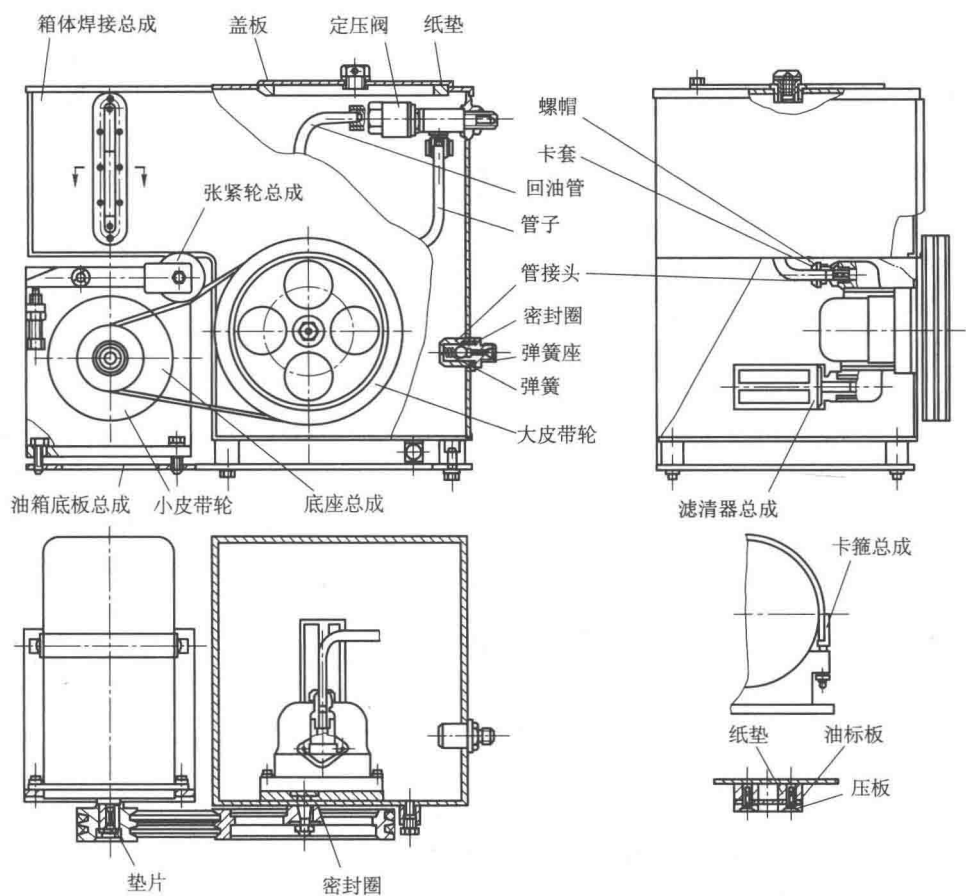


图 9-3-18 液压油箱

形式的弹簧。独立悬架的结构类型很多，主要可按车轮运动形式分成横臂式、纵臂式和车轮沿主销移动式悬架三类（图 9-3-19）。

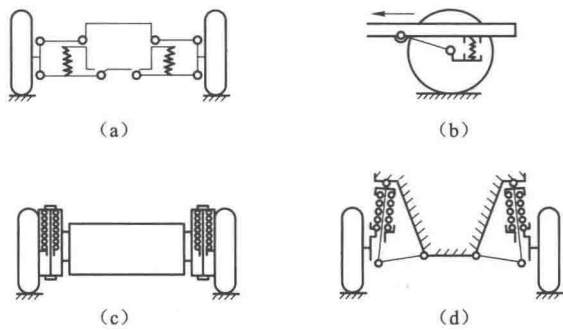


图 9-3-19 三种基本类型的独立悬架

(a) 横臂式独立悬架；(b) 纵臂式独立悬架；(c) 烛式悬架；(d) 麦弗逊式悬架

横臂式独立悬架的车轮在底盘横向平面内摆动，如图 9-3-19 (a) 所示。纵臂式独立悬架的车轮在底盘纵向平面内摆动，如图 9-3-19 (b) 所示。

车轮沿主销移动的悬架有两种：一种是烛式悬架，如图 9-3-19 (c) 所示；另一种是麦弗逊式悬架，即滑柱连杆式悬架，如图 9-3-19 (d) 所示。

1. 横臂式独立悬架

横臂式独立悬架分为单横臂式和双横臂式两种。

单横臂式独立悬架的特点是：当悬架变形时，车轮平面将产生倾斜而改变轮距，致使轮胎相对于地面侧向滑移，破坏轮胎和地面的附着。此外，这种悬架用于转向轮时，会使主销内倾角和车轮外倾角发生较大的变化，并且对于操纵性有一定影响，因此目前很少采用。

双横臂式独立悬架分为等长双横臂式和不等长双横臂式。

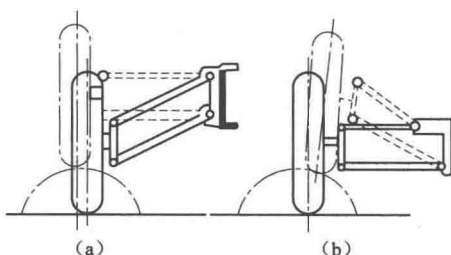


图 9-3-20 双横臂式独立悬架示意图

图 9-3-20 (a) 所示为等长双横臂式独立悬架示意图，当车轮上下跳动时，车轮平面没有倾斜，但轮距却发生了较大的变化，这将增加车轮的侧向滑移；不等长双横臂的独立悬架如图 9-3-20 (b) 所示，如果两臂长度选择适当，可以使车轮和主销的角度以及轮距的变化都不太大。不等长的双横臂式独立悬架在车的前轮上应用得较广泛。

2. 纵臂式独立悬架

纵臂式独立悬架有单纵臂和双纵臂两种。

转向桥采用单纵臂独立悬挂时，车轮上下跳动将使主销后倾角产生很大变化，如图 9-3-21 所示。因此，单纵臂式独立悬架一般多用于不转向的后轮。

图 9-3-22 所示为双纵臂式扭杆弹簧独立悬架。两个等长的纵臂形成平行四连杆机构，当车轮上下跳动时，主销后倾角保持不变。因此，这种悬架可用于转向桥悬架。扭杆弹簧由弹簧钢片叠合而成，并装在管状的横梁内，两端固装在纵臂轴上。

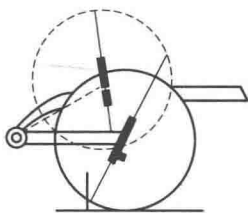


图 9-3-21 单纵臂式前独立悬架

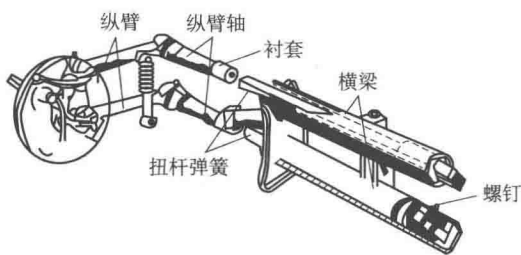


图 9-3-22 双纵臂式扭杆弹簧独立悬架

(四) 螺旋弹簧

螺旋弹簧一般用于轮式车辆，与减振器、导向机构一起组成车辆的悬挂装置（又称为悬架）。

某轮式车辆采用独立悬架结构（图 9-3-23），其特点是两侧的车轮各自独立地与车体弹性连接。独立悬架有以下优点：

① 每个车轮可以单独运动，在不平道路上行驶时一侧的振动不会影响另一侧，因此减少了车轮的振动和歪斜，提高了车辆行驶的平顺性。所谓行驶平顺性，是指车在通常行驶速

度范围内行驶时,能保证乘员不致因车身振动而引起不舒适和疲劳的感觉,以及保证所载武器装备完整无损的性能。

② 独立悬架减少了簧下质量,减少了悬架在不平路面上所受的冲击负荷。

③ 车轮具有较大的上下运动空间,可以采用较软的弹簧,提高了行驶的舒适性。

该轮式车辆导向机构采用不等长双横臂形式(图 9-3-23),其轮距及前、中轮定位参数变化较小,因此具有较好的行驶稳定性,且遇到路面障碍时冲击也比较小,得到了良好的行驶平顺性。

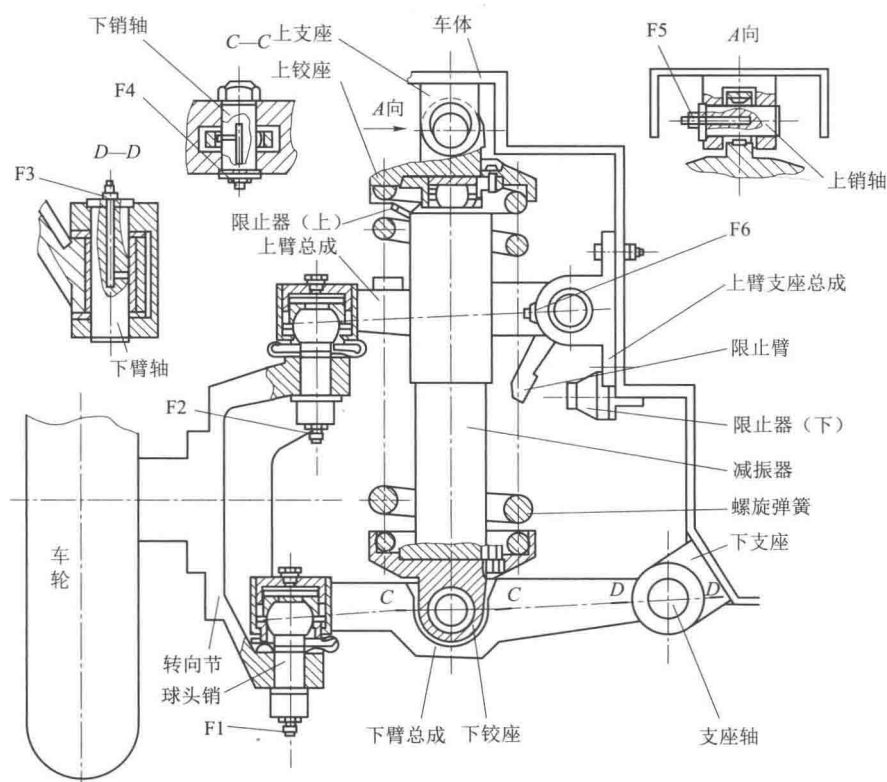


图 9-3-23 轮式车辆独立悬架

上臂总成为单臂结构,主要包括上臂、限止臂和上臂轴零件。上臂和限止臂通过槽接保持周向定位,上臂轴穿过限止臂孔再压入上臂水平方向的孔内,和限止臂焊接在一起。上臂轴的两伸出端插在两个上臂支座总成带衬套的孔内,上臂支座用螺栓、螺母紧固在车体侧甲板上,支座孔内铜合金衬套有三道环形油槽和径向油孔,并与支座孔的上油孔相通,便于加注润滑脂。下臂总成为 A 型焊接构件,由连接臂、主臂、副臂和连接管等零件焊接而成。连接臂上有下球头销座安装孔,主臂和副臂上各有一个同轴轴孔,孔内压有铜合金衬套,下臂总成与焊接在车体上的下支座通过两根下臂轴铰接在一起。下臂轴孔的衬套同样有三道环形油槽和径向油孔,与下臂轴上油道接通,以便加注润滑脂。上、下臂总成上的球头销支座孔内安装球头销。上、下臂上的球头销孔的下端离端面 8 mm 处直径变小,下球碗的台肩紧靠其上。上球碗扣在球头销的球头上部,上端平面放置两片碟形弹簧,臂孔带内螺纹的一端拧入带外螺纹的球碗盖,将球头定位。球碗盖上设有螺塞,以便加注润滑脂。两片碟形弹簧

用来消除球头磨损产生的间隙。球头销的中段为锥轴，下端螺纹通过螺母将转向节的上、下锥孔与上、下臂上的球头销锥轴颈固连在一起。

螺旋弹簧的上、下端分别与上铰座和下铰座相连。弹簧中心安装有减振器总成。与减振器座圈焊接在一起的连接盘与下铰座通过四根螺栓固连在一起，减振器活塞杆外端头通过螺纹与球头连接，球头通过上、下两个球碗铰接于上连接盘中，上连接盘再通过四个螺栓与上铰座连接。上铰座凸耳内装有关节轴承及挡圈，通过上销轴与车体上的上支座铰接。下铰座凸耳内也装有关节轴承及挡圈，通过下销轴与下臂总成上的支承孔座铰接。

由于上、下臂臂长不等，当车轮上下跳动时，车轮的平面、主销轴线以及轮距都有所变化。当车辆通过障碍时，车轮被抬起，然后通过下臂压缩螺旋弹簧而缓和了冲击，并通过减振器加速了振动的衰减。纵向力、侧向力及其力矩由转向节、球头销及上、下臂传递到车体上。

二、阻尼元件

阻尼元件用来吸收悬挂系统的能量并将其转化为热量散掉，以达到衰减车体振动、限制共振状态下车体振幅的目的。它具有不可逆吸收转换功能。

按工作原理，阻尼元件分为液压式和摩擦式两种。

液压式利用液体通过小孔的节流作用实现减振。液压式阻尼元件在结构形式上分为叶片式、摆杆式、筒式等几种。

摩擦式的摩擦阻尼力由主被动摩擦片的摩擦来实现，其减振阻力与负重轮行程成正比，与负重轮与车体间相对速度无关，并使车体振动按等比级数衰减，正、反行程减振阻力相等。

（一）摩擦减振器

某主战坦克两侧的第1、2、6负重轮处的侧甲板上，安装着由干式摩擦片组成的摩擦减振器。它通过中间拉臂与平衡肘相连，其作用是部分地吸收和衰减在坦克行驶中地面对负重轮产生的冲击和振动，以提高火炮射击精度和乘员的持久作战能力。

1. 构造

减振器主要由内齿摩擦片、外齿摩擦片、碟形弹簧组、内外齿弹子盘、支承座、轴、减振器体和连接拉臂等组成（图9-3-24）。

减振器体内花键用于安装外齿摩擦片和外齿弹子盘；其外圆柱面上有两个向内腔中加注二号润滑脂的螺纹孔。减振器体左端面上的两条刻线用来确定轴的安装位置。

支承座用螺栓固定在减振器体上，用O形圈密封，与减振器体之间构成弹簧工作腔。支承座内孔中，安装着毛毡支座、毡圈自紧油封并压装着两端装有弹性挡圈的外轴套。在支承座外表面上，还有两条装配时应与器体端面上两条刻线定位的刻线。

轴中部花键上安装着内齿摩擦片和内齿弹子盘。装配后的内外齿弹子盘和摩擦片之间留有一定的间隙。在轴外端花键上还装有连接臂。另外，轴外端面上的定位线装配时应与器体上刻线对齐，以确定连接臂在轴上及减振器在车上的安装位置。

20片内齿摩擦片通过键齿套装在轴上，它随轴转动并可沿轴的键齿滑动，称为主动摩擦片。

19片外齿摩擦片套装在减振器体内花键上，可沿减振器体的内花键滑动，称为被动摩

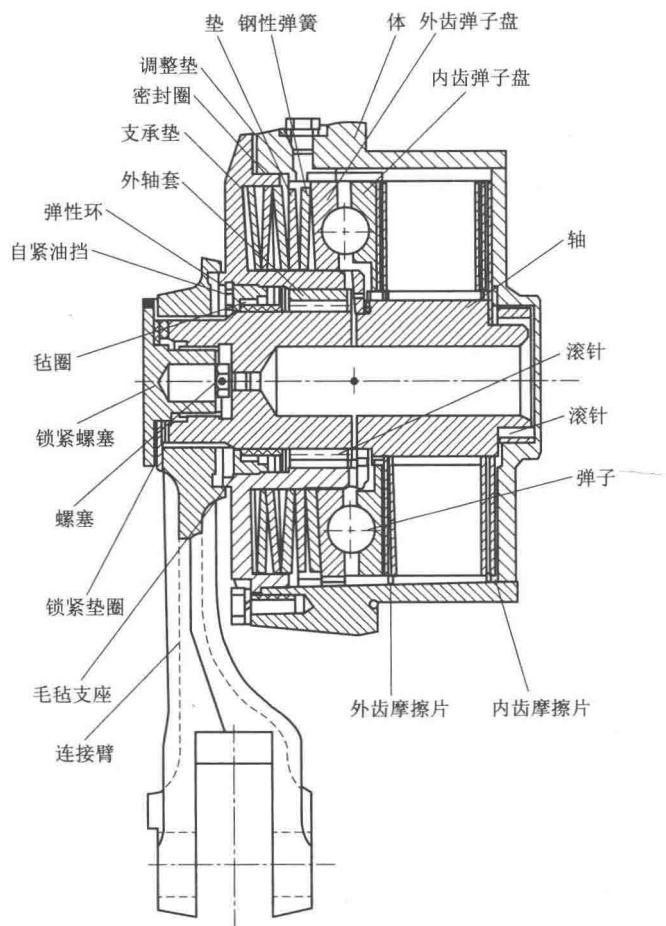


图 9-3-24 摩擦减振器

擦片。

摩擦片的一面是光滑的钢表面，另一面敷有球形铜粉和改性聚四氟乙烯的复合层，以便形成摩擦衬面。

内外齿摩擦片是依次、交替排列组装的，第一片是内齿摩擦片，其衬面与减振器体底端平面贴合；最后一片也是内齿摩擦片，其钢背面与内齿弹子盘的端平面贴合。摩擦片的衬面都朝向减振器体的底平面方向。两种摩擦片形成 39 对摩擦副。

内齿弹子盘通过键套装在轴上，其端平面紧贴内齿摩擦片的钢背面，它随轴转动并沿轴的键齿滑动，称为主动弹子盘。

外齿弹子盘通过齿套装在减振器体的内花键上，可沿减振体的键齿滑动，称为被动弹子盘。

在内外弹子盘相对平面圆周上均布的三个弹子槽内装有三个弹子，以此构成了减振器的加压机构。

由两片小刚性碟形弹簧与两片大刚性碟形弹簧分别背靠背，然后再四片串装构成。除一片大刚性弹簧外径支承在外齿弹子盘外端面的凹槽内外，其余弹簧均支承在支承座的内径中。为保证弹簧的安装尺寸，中间两片大刚性弹簧之间还装有支承垫。

2. 工作原理

坦克在凸凹地面行驶时，负重轮会相对车体上下运动，并且会带动平衡肘绕其轴心摆动，经拉臂、连接臂使减振器轴转动。减振器轴转动时，会通过键齿带动内齿弹子盘转动，迫使弹子从深槽处向浅槽处滚动，使外齿弹子盘在减振器体齿槽内移动而压缩碟形弹簧。碟形弹簧的弹簧力施加在摩擦片上，将内外齿摩擦片压紧而产生摩擦转矩。摩擦力矩又经连接臂、拉臂作用到平衡肘上，以阻止其转动，从而减少负重轮的动行程。摩擦力矩与负重轮行程大小成正比。当负重轮行程小时，摩擦阻力小；负重轮行程大时，减振器产生的阻力也增大，使振幅很大的振动得以快速衰减。

(二) 叶片式液力减振器

1. 构造

叶片式液力减振器由减振器体、隔板、叶片及轴、减振器盖、连接臂和拉杆组成 (图 9-3-25)。

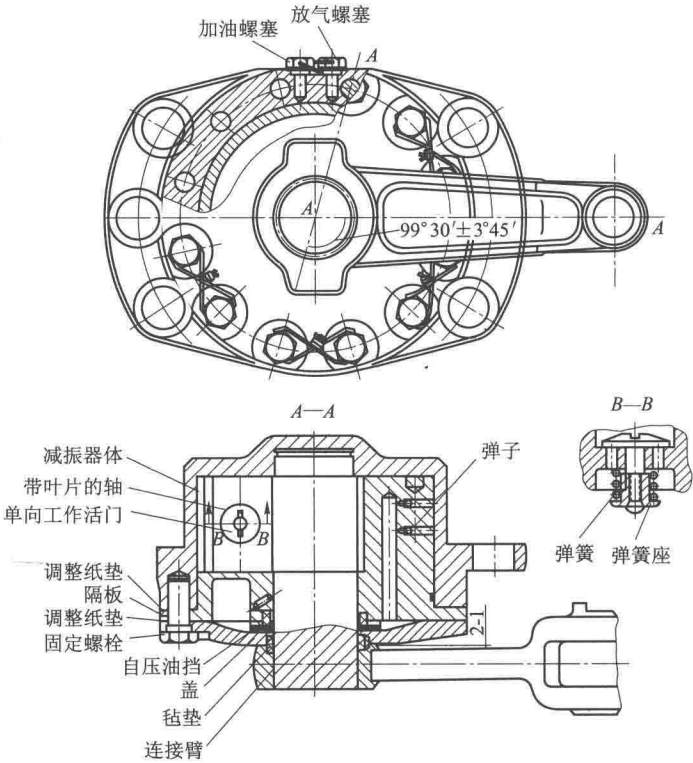


图 9-3-25 液力减振器

减振器体固定在车体侧装甲板减振器支架上。减振器体内固定有隔板，隔板上的隔墙与叶片配合，将减振器体的内腔分成四个工作室。隔板上的弧形槽和垂直油道与盖的凹槽形成补偿油室。每个隔板上均装有两个单向活门。隔板中间的孔与叶片轴配合，该处制有两道环形集油槽，并装有胶皮自压油挡。集油槽与补偿油室相通，用于使被油挡挡回的油液能流回补偿油室。

叶片及轴制成一体。两叶片上均装有工作活门。叶片轴支撑在减振器体和隔板的孔内，

可以自由转动。轴外端制有花键，花键上连接着连接臂大端，连接臂小端经拉杆与平衡肘的连接耳相连。

2. 工作

坦克在水平路上运动时，连接臂基本位于水平状态，叶片与隔板将减振器体内腔分成四个容积基本相同的工作室（I、I、II、II），此时活门关闭（图 9-3-26）。

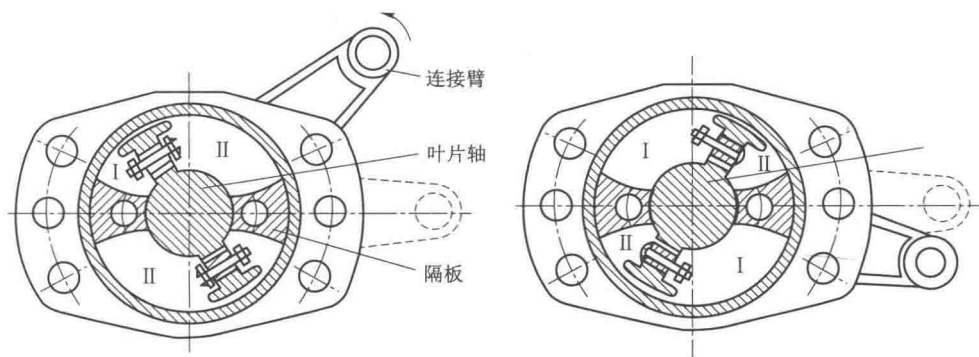


图 9-3-26 液力减振器的工作

当负重轮受到冲击而相对车体上升时，平衡肘经拉杆带动连接臂向上摆动，这一过程为正行程。此时叶片轴转动，I 室容积减小，液压增大；II 室容积增大，压力降低，从而形成压力差。液体除通过叶片与车体的径向间隙由 I 室流向 II 室外，还顶开叶片上的工作活门，从 I 室流向 II 室。此时由于流动阻力较小，扭力轴能充分扭转变形而吸收能量，缓和对车体的冲击。

扭力轴回扭释放能量的作用使平衡肘向下摆动，并带动负重轮下移，这一过程为反行程。此时平衡肘经拉杆带动连接臂向下摆动，叶片轴反转，II 室容积减小，压力增大；I 室容积增大，压力降低。此时工作活门关闭，II 室的液体只能经叶片与减振器体的径向间隙流向 I 室，流动阻力很大，扭力轴所吸收的能量不能全部转换为车体的动能，其中一部分能量变为热能，因此车体振动很快衰减。

减振器工作时，会有少量液体经轴和隔板之间的缝隙先流入集油槽，再流入补偿油室，使补偿油室的压力增高。当工作室内的压力降低时，补偿油室的液体便顶开弹子活门而补充油压。当工作室内的压力大于补偿油室的压力时，弹子活门关闭，通路被切断。

（三）筒式减振器

1. 构造

某轮式 6×6 装甲车 S65-190A 型双向作用筒式减振器构造如图 9-3-27 所示，它由防尘罩总成、导向器总成、活塞缸、活塞总成、压缩阀总成和储油缸总成等组成。

防尘罩总成包括活塞杆、防尘罩和防尘罩盖。活塞杆直径小端与防尘罩盖焊接在一起，其露出罩盖的外端加工有螺纹，用于固定减振器上的连接座。

导向器总成位于储液缸上端，用来承受侧向力，包括储液筒螺母、弹簧罩、密封圈、垫圈、密封垫圈、油封弹簧、导向器、挡圈和减磨套。减磨套位于导向器孔内，用于提高抗偏磨能力。导向器外径与储液筒贴合，其一侧端部凸缘嵌入活塞缸内，另一侧端面紧贴弹簧罩并通过储液筒螺母轴向压紧定位。

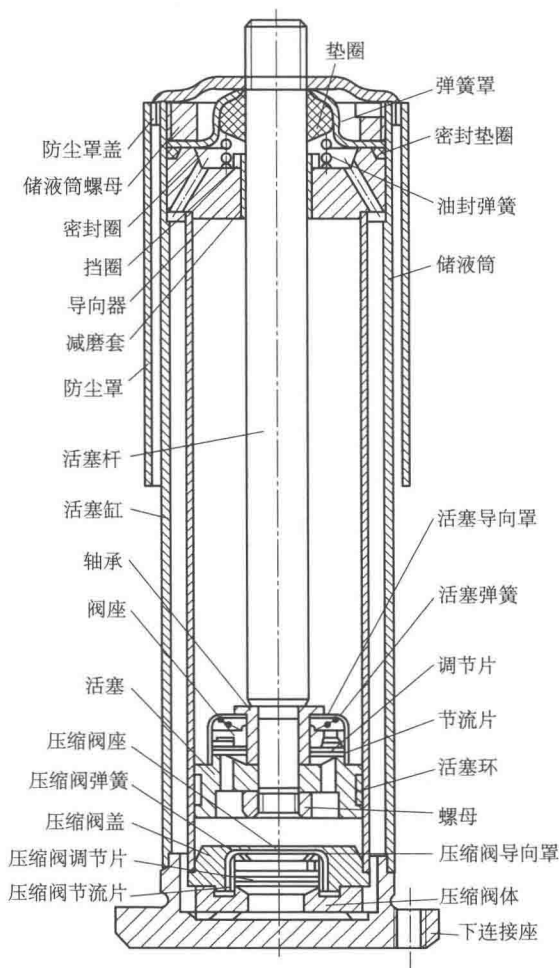


图 9-3-27 筒式减振器

入上腔室。这样，油压和阻尼力都不致超过一定限度，保证压缩行程中悬架弹簧确实起到缓冲作用，防止过大的冲击。

伸张行程：活塞上移，上腔室容积减小，油压升高。这时，上腔室油液经过调节片流入下腔室（节流片早已关闭）。同样，由于活塞杆的存在，致使下腔室形成一定的真空度，这时，储液筒中的油液便经压缩阀节流片与压缩阀座和导向罩形成的缝隙流入下腔进行补充。由于通道截面很小，产生的阻尼力较大，因此振动迅速衰减。

当车体振动剧烈，下腔内产生更大负压使储液筒油压足以克服压缩阀弹簧的张力时，压缩阀座开启，通道截面增大，储液筒内油液被吸入活塞缸内，使油压和阻尼力保持在一定限度之内，保护减振器和车辆的其他零件不会因超载而损坏。

三、主动悬挂

传统底盘悬架刚度和阻尼大小不会随底盘行驶状态而调整，当底盘运动状态及道路条件发生变化时，行驶平顺性、操纵稳定性等会受到影响。为提高车辆的操纵稳定性，要求悬架具备较大的刚度和阻尼，以限制过大的车身运动（如车辆转弯行驶时的车身侧倾、紧急制

活塞总成固连在活塞缸内的活塞杆端头，包括轴套、活塞导向罩、活塞弹簧、压缩阀导向罩、调节片、节流片、活塞、活塞环和螺母等零件。活塞沿周向均布四个孔，并将活塞缸分隔成上、下两个腔室，减振器油只能经过活塞上四个孔相通，其流量大小由节流片和活塞弹簧控制。

压缩阀总成位于下连接座内，由压缩阀体、压缩阀盖、压缩阀节流片、压缩阀调节片、压缩阀座和压缩阀导向罩等零件组成。压缩阀体底部有四个凸台抵在下连接座上，以保证活塞缸与储液筒内的减振器油相通。

2. 工作

压缩行程：活塞下移，下腔室容积减小，油压升高。这时，油压经过节流片进入活塞上方腔室。由于活塞杆占上腔室一部分容积，故上腔室增加的容积小于下腔室减小的容积，下腔室多余的油液则通过压缩调节片和油道进入储液筒，并产生按速度变化的阻力，从而消耗了振动能量，使振动衰减。当车体振动剧烈时，下腔室油压很高，因而克服了活塞弹簧的张力，向上推开阀座而流

动时的火炮俯仰等)，但这会影响车辆的行驶平顺性；反之，如果提高车辆的乘坐舒适性，则悬架刚度和阻尼较小，车辆行驶在不平路面上时，路面的颠簸而使车身位移增大，对车的操纵稳定性带来不利影响。这种刚度和阻尼不会随自行火炮行驶状态而变化的悬架称为被动悬架。

随着电子技术、传感器技术的飞速发展，智能控制悬架开始应用在一些车上。有的悬架系统的刚度和阻尼特性根据车辆的行驶条件（车辆的运动状态和路面状况等）进行动态自适应调整，使悬架系统始终处于最佳减振状态，这种悬架称为主动悬架。

主动悬架系统按其是否包含动力源可分为全主动悬架（有源主动悬架）系统和半主动悬架（无源主动悬架）系统两大类。

1. 全主动悬架

全主动悬架是在被动悬架系统中增加一个可控调整装置。调整装置由能源系统、控制系统及执行机构等组成，其中能源系统为该装置各部分提供能量；控制系统测量悬架系统各种状态信息，为调控悬架系统的性能（刚度、阻尼力）提供依据，以及处理数据和对执行机构发出各种控制指令；执行机构执行控制系统的指令，一般为力发生器或转矩发生器（液压缸、气缸、伺服电动机、电磁铁等）。

目前，全主动悬架系统包括主动空气悬架、主动油气悬架和主动液压悬架三种。

2. 半主动悬架

半主动悬架在车辆运动状态及道路条件变化时，只改变悬架的阻尼力，不改变悬架的刚度。半主动悬架无动力源，只由可控制的阻尼系统组成。

半主动悬架按阻尼级又可分成有级式和无级式两种。

(1) 有级式半主动悬架

有级式半主动悬架将悬架系统中的阻尼力分成两级、三级或更多级，可由驾驶员选择或根据传感器信号自动进行选择所需要的阻尼等级。也就是说，有级式半主动悬架可以根据路面条件和车的行驶状态来调节悬架的阻尼等级，使悬架适应外界环境的变化，从而可较大幅度地提高底盘的行驶平顺性和操纵稳定性。

(2) 无级式半主动悬架

无级式半主动悬架根据车辆行驶的路面条件和行驶状态，在几毫秒内对悬架系统的阻尼进行由最小变到最大的无级调节。

图 9-3-28 所示为一种无级悬架示意图。微处理机从速度、位移、加速度等传感器处接收信号，计算出系统相应的阻尼值，并发出控制指令给步进电动机，电动机驱动阀杆，阀杆带动调节阀门转动，使其改变节流孔的通道截面积，从而改变整个系统的阻尼力。

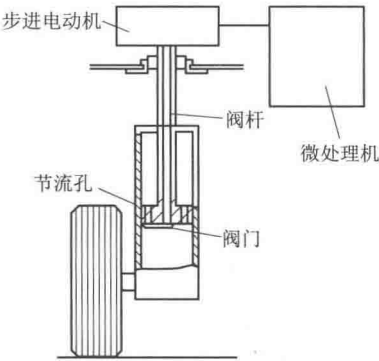


图 9-3-28 无级半主动悬架示意图

第四节 水上推进装置

部分坦克装甲车辆除了具备陆上行驶能力外，还具备水上行驶的能力。

水上行驶装置通常有划水式、螺旋桨式和喷水式三种。

一、螺旋桨式水上推进装置

某6×6轮式装甲车具备水上航行能力，其传动布置如图8-1-14所示，传动简图如图8-5-15所示。该装甲车自身能浮渡，并装有专用的水上推进系统。水上推进装置主要用于车辆克服水障碍时，提高车辆水上航行的机动性，改善车辆在浮渡时的可操纵性能。

水上推进系统用来将发动机的动力变为水的推力，使车辆在水上航行，它由水上万向传动轴、水上传动箱、左右水上推进装置、水上操纵机构组成。

（一）构造

1. 水上万向传动轴

万向传动轴的功能是连接各传动部件，并且在轴间相对位置（距离、夹角）发生变化时保证可靠地传递动力。

水上传动轴为钢管式普通十字轴式的万向传动轴，由万向节和传动轴轴管组成，结构如图9-4-1所示。万向节由传动凸缘、十字轴、滚针轴承、密封圈、挡圈、油嘴等组成。

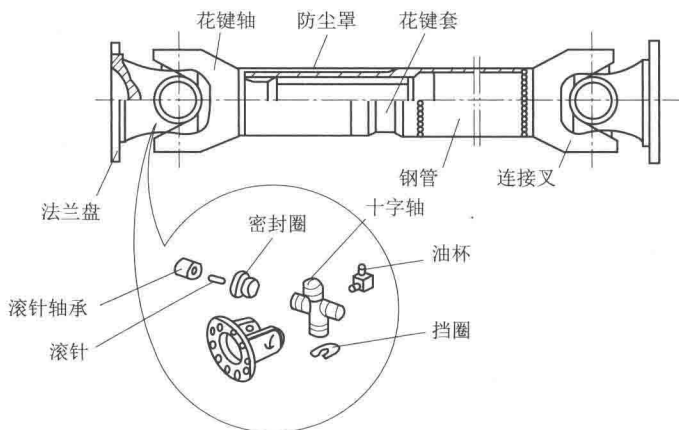


图 9-4-1 水上万向传动轴

2. 水上传动箱

水上传动箱的作用是改变第二水上传动轴传递的发动机动力方向，并将其传给左、右水上推进装置，同时改变输入的转速、扭矩和变换旋转方向，以满足水上推进器的需要。水上传动箱设有水泵接口，为排水泵提供动力源。

水上传动箱由箱体、主动轴总成、中间轴总成、从动轴总成、换向装置组成（图9-4-2）。

3. 水上推进装置

水上推进装置分左、右水上推进装置，都由横轴总成、纵轴总成、推进器组成，左水上推进装置如图9-4-3所示。左、右推进装置的叶轮的旋向不同：左推进器装置的叶轮为右旋，右推进装置的叶轮为左旋。

横轴总成由连接支架、箱体、主动轴、主动锥齿轮、连接轴、花键套、轴承及轴承座、端盖、侧轴承盖等组成。主动轴通过连接套和连接轴与水上传动箱连接盘连接。

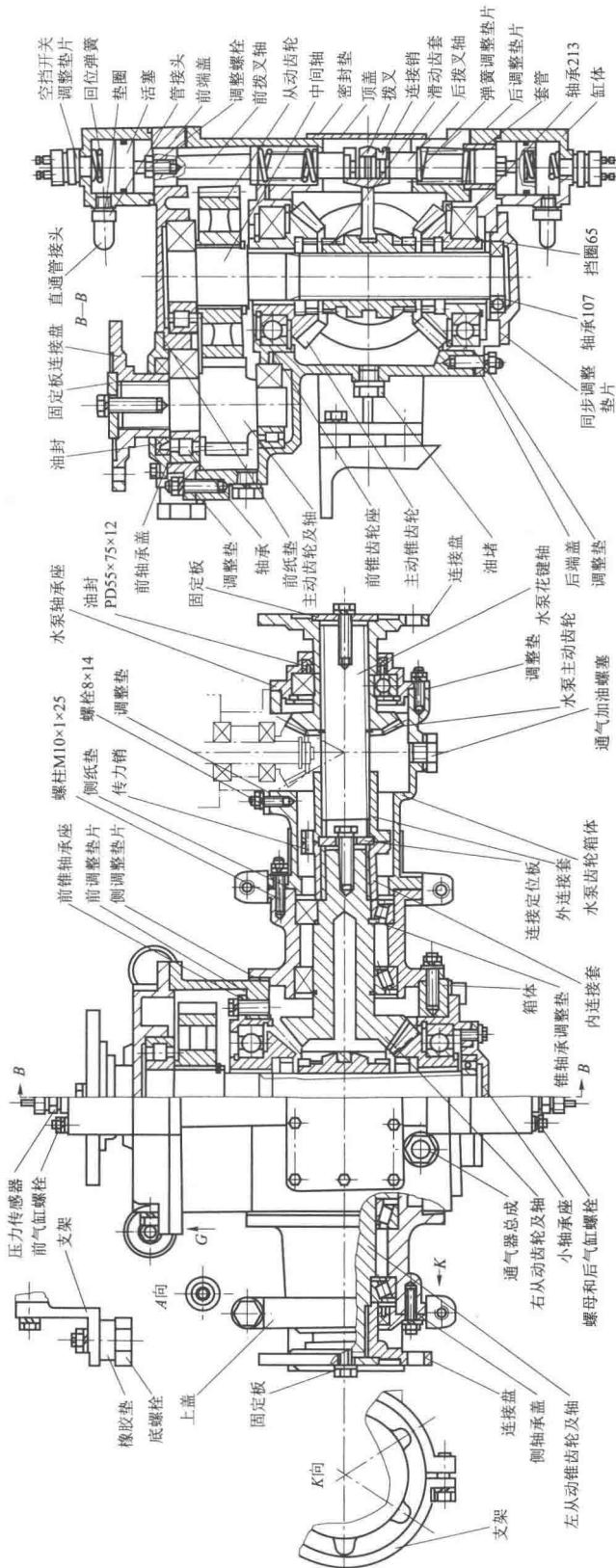


图 9-4-2 水上传动箱

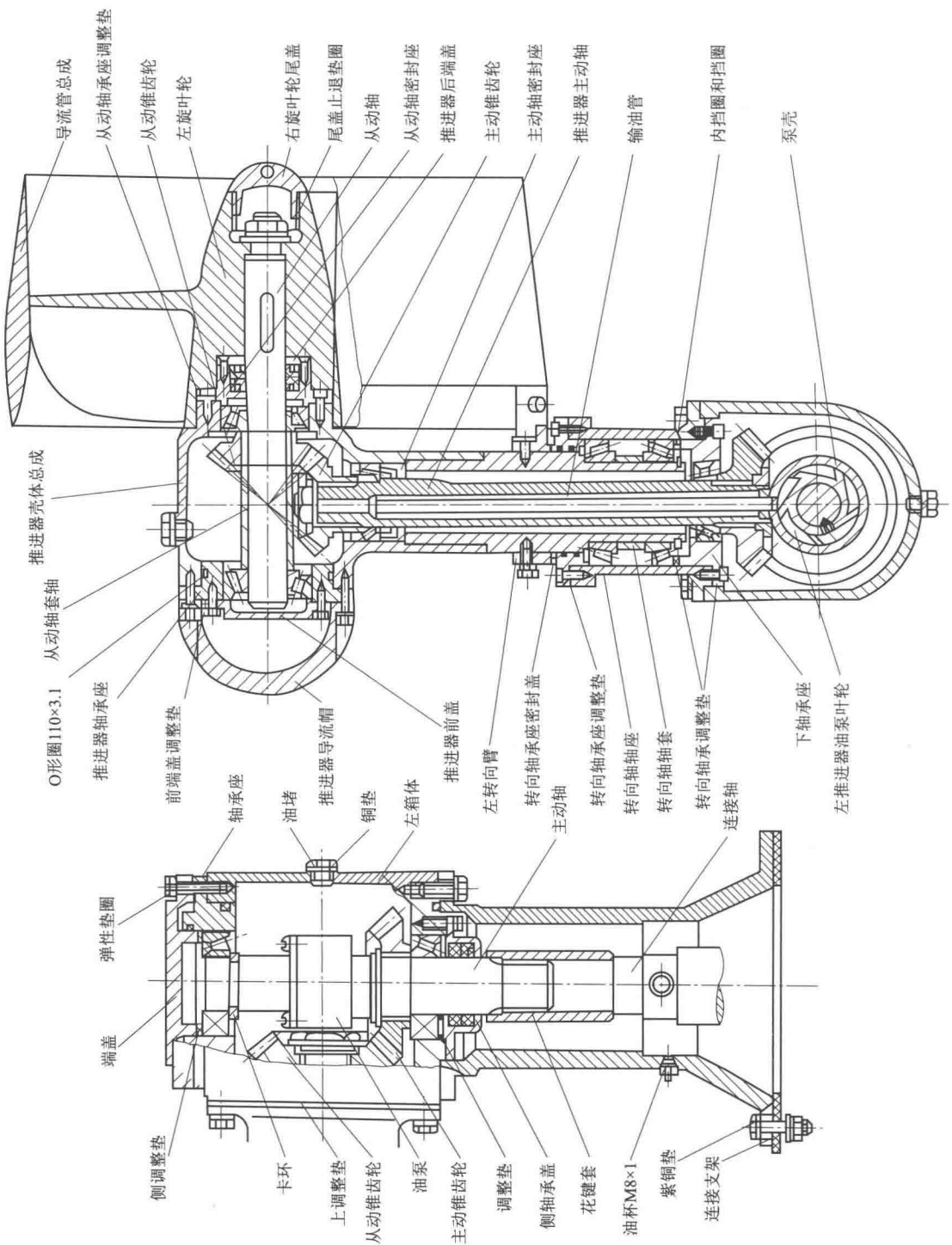


图 9-4-3 左上推进装置

纵轴总成由转向轴承座、转向轴轴套、下轴承座、推进器主动轴、输油管、转向臂、密封座、被动锥齿轮、推进器主动锥齿轮、轴承等零件组成。推进器主动轴为空心轴，上面通过螺母固定被动锥齿轮和推进器主动锥齿轮。中空的推进器主动轴里面穿有油管，轴套上固定着转向臂。

推进器由推进器壳、从动轴、从动锥齿轮、从动轴轴套、前端盖、导流帽、螺旋叶轮、导流管、尾盖、轴承及轴承座、后端盖、密封座等零件组成。从动轴上通过平键连接着装有尾盖的螺旋叶轮，并用螺母轴向定位。导流管套在右螺旋叶轮上，导流管支承在推进器壳体上。

4. 水上操纵装置

水上操纵装置用于车辆水上航驶、转向，它通过杆系推动水上推进器，使其绕自身传动垂直轴线转动实现这一功能。水上转向操纵杆系通过水上转向离合器与陆上转向操纵杆系连接，离合器由驾驶员用气压操纵。车辆在水上航驶时，驾驶员使水上转向杆系与陆上转向杆系结合。然后通过操纵转向盘即可使水上推进器随其转向，从而实现水上转向航驶。水上操纵装置由纵拉杆、水上转向离合器、连接杆、输出轴、传动轴、支架、连杆总成、摇臂、调整垫等组成，如图 9-4-4 所示。

水上转向离合器由操纵传力机件和操纵控制机件两部分构成（图 9-4-5）。

操纵传力机件由连接盘、活动盘、固定盘、支座、花键轴、小摇臂、凸缘等组成。活动盘拉臂上的锥孔与纵拉杆的接头连接。活动盘和固定盘分别安装在支座的支承孔内。

操纵控制机件由气缸、活塞、拨叉、拨叉轴、回位弹簧等组成。拨叉套在拨叉轴上，拨叉的拨爪位于凸缘环槽内，拨叉轴上还套着回位弹簧。气缸和缸盖通过螺栓固定在支架上。

当压缩空气进入气缸内推动活塞并带动调整螺栓左移时，与调整螺栓连接在一起的拨叉轴推动拨叉左移，从而压缩回位弹簧；拨叉带动凸缘左移并接合离合器，实现水上转向操纵系与陆上转向杆系的结合。驾驶员转动转向盘时，通过陆上转向装置的第二右摆臂带动水上操纵杆系的总拉杆前、后移动，使活动盘带动花键轴转动，从而实现水上操纵转向。停止操纵时，切断压缩空气，拨叉回位而带动拨叉轴、活塞右移直到回到原位；凸缘也向右移动，脱离活动盘，使离合器分离，即水上操纵杆系与陆上转向操纵杆系脱离。驾驶员转动转向盘，水上操纵杆系纵拉杆前、后移动，活动盘不能带动花键轴转动，即停止了水上操纵转向。

（二）工作概况

1. 水上操纵机构的工作

当车辆在水上前进（或倒退）的开关接通后，其控制气路的压缩空气自动接通后传动箱工作缸、水上转向离合器工作缸和水上前进（或倒退）工作缸的气路，水上转向离合器结合，使水上转向杆系与陆上转向杆系连接起来。当驾驶员转动转向盘时，各机构的动作分别为：第二右摆臂（图 9-4-4）随着摆动→纵拉杆前后移动→活动盘总成移动→转向臂摆动→右水上推进器绕其主动轴轴线摆动；左路转动轴转动→支座的小摇臂摆动→连杆总成轴向移动→摇臂摆动→左输出轴转动→拉杆轴移动→左转向臂摆动→左水上推进器绕其主轴轴线摆动。

2. 水上传动装置的工作

空挡时，水上传动箱换向装置的拨叉位于滑接齿套的中间环槽内。滑接齿套与主动锥齿

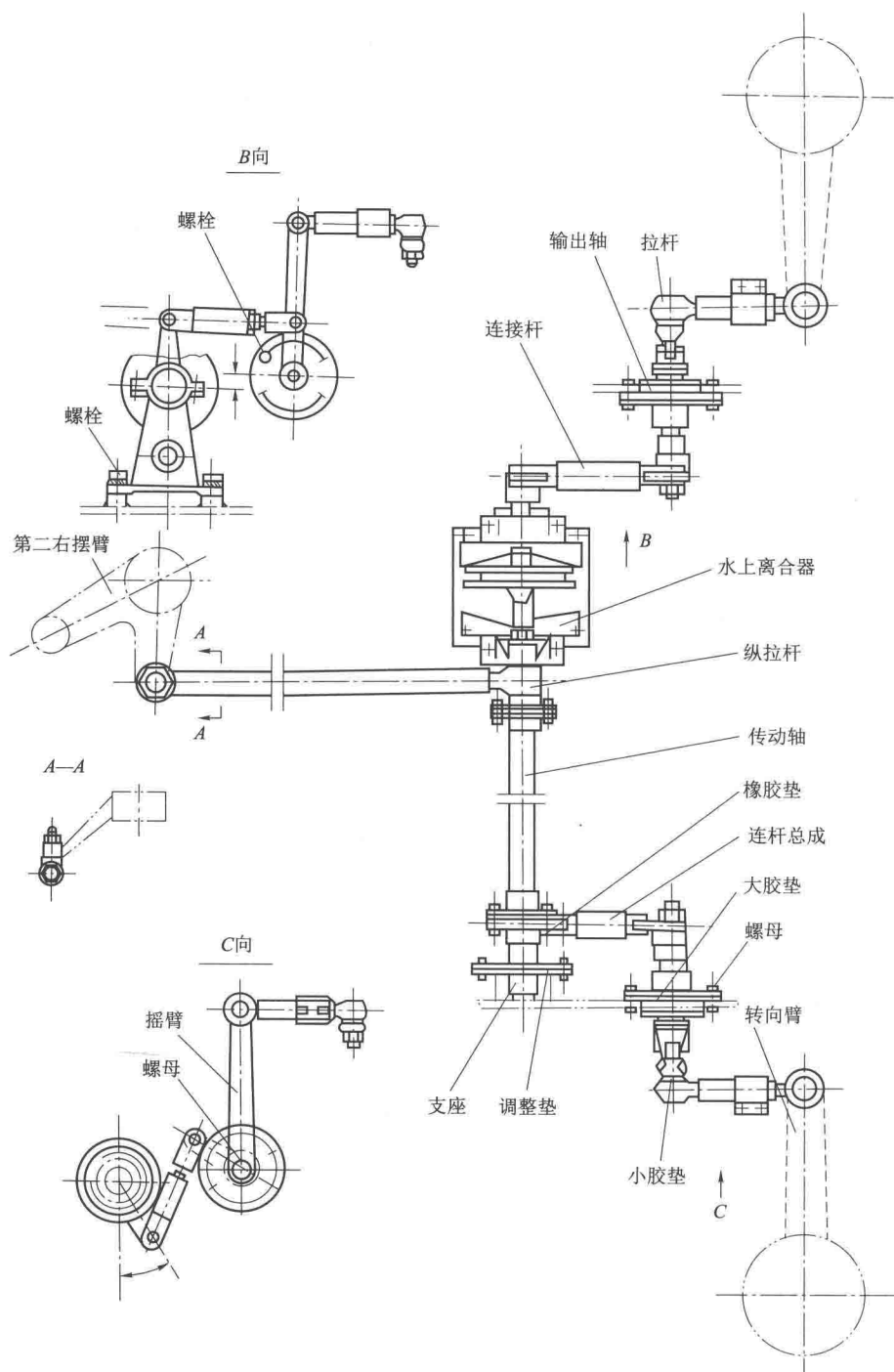


图 9-4-4 水上操纵装置

轮端面有一定的间隙。此时，动力带动水上传动箱主动轴及主动齿轮、被动齿轮、中间轴、滑动齿套空转。

向前航行时，接通前进挡开关，即接通高压空气，高压空气充入水上传动箱换向装置的

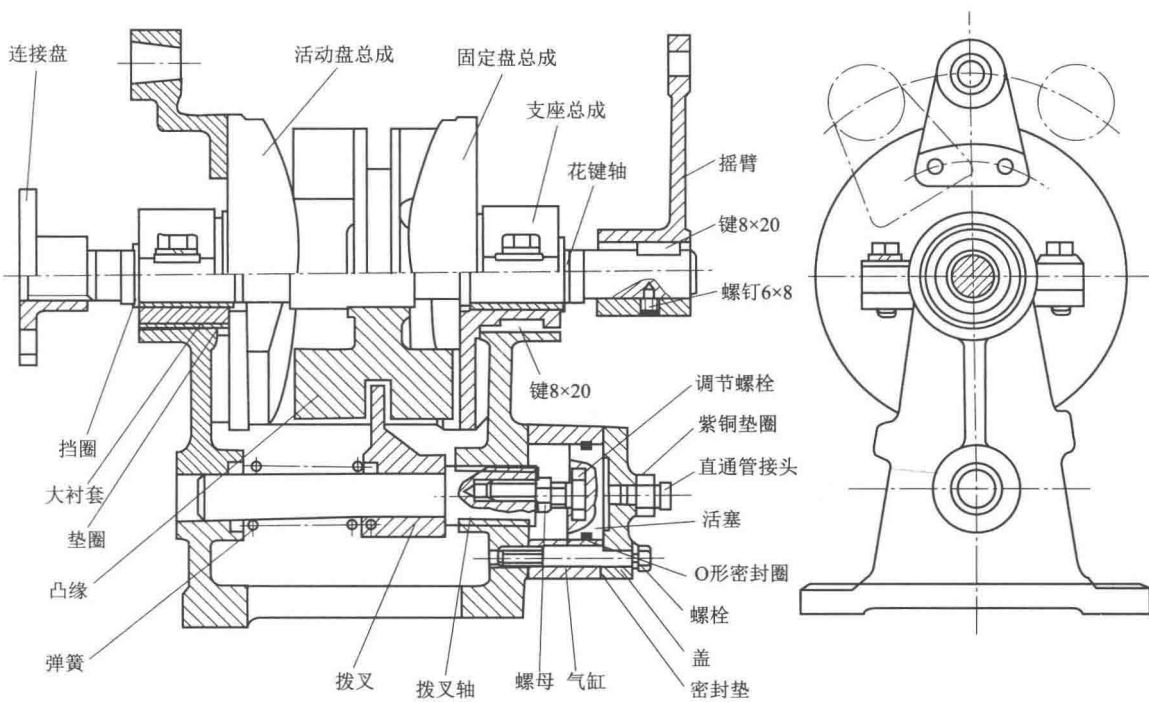


图 9-4-5 水上转向离合器

左侧气缸，推动活塞、前拨叉轴；拨叉带动滑动齿套向右移动，与右侧主动锥齿轮啮合；滑动齿套带动主动锥齿轮、从动锥齿轮及轴、左右两侧的螺旋推进装置转动，从而推动车辆水上向前航行。

倒驶时，转动倒驶开关，高压空气充入换向装置的右侧，并推动活塞、后拨叉轴；拨叉带动滑接齿套向左移动，与左侧主动锥齿轮啮合，使从动轴反转，经推进装置使车辆在水上倒驶。

转向时，驾驶员使水上转向杆系与陆上转向操纵杆系结合，然后通过操纵转向盘即可使水上推进器随其相应转向，从而实现水上转向航行。

二、喷水推进装置

螺旋桨式推进装置一般用于现代轻型装甲车辆的水上航行，可使航速达到 7~12 km/h。水上航行不是主要行驶工况。对于稍重的车辆或航速有较高要求的车辆，则采用喷水式推进装置。这时，水上航行已成为车辆的重要行驶工况。水陆坦克或两栖突击车多采用喷水行驶装置。

水上喷水推进装置用来将发动机的动力转变为喷水推力，使车辆在水上航行。

(一) 构造

我国 63A 式水陆坦克的水上推进装置由水道、水门及操纵装置组成（图 9-4-6）。

1. 水道

水道包括进水道、水道弯管、出水管、尾喷管及倒车水道。

进水道一端焊在发动机两侧的车体底部装甲板进水口上，另一端与推进器体连接。进水

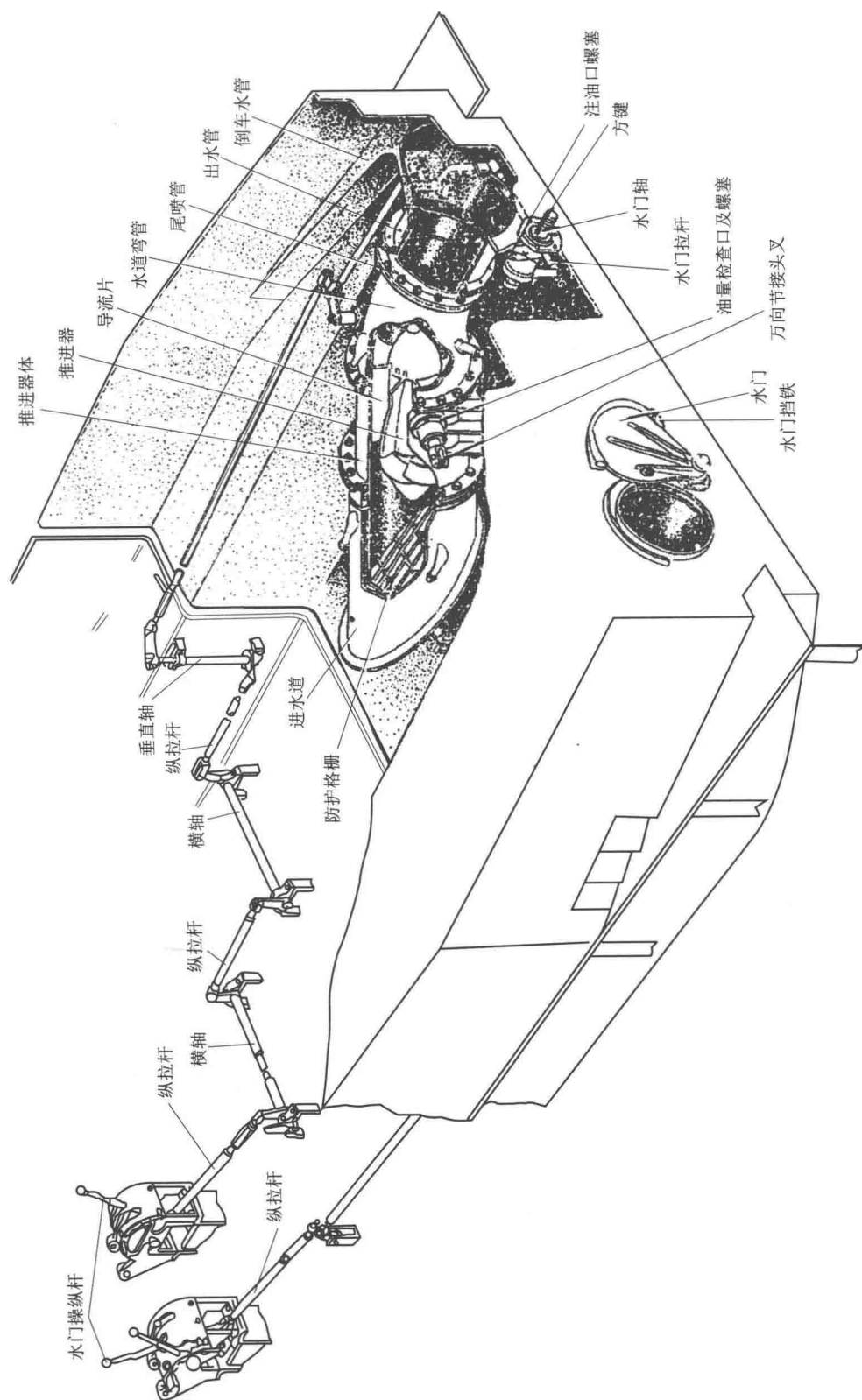


图 9-4-6 水上推进装置

口处的防护格栅用来防止大块硬物和水草进入推进器而损坏叶轮或堵塞水道。

水道弯管一端与推进器连接，另一端与出水管尾喷管连接。

为加快水流喷出的速度，尾喷管被做成收缩管，其一端与水道弯管连接，另一端伸入焊在车体后垂直装甲板上的出水管。尾喷管的外侧有一出水口和倒车水道相通。关闭水门时，水由尾喷管外侧的出水口进入倒车水道。为防止水流入车内，在和尾喷管相连的出水管凸缘处装有密封胶圈。

倒车水道位于车体两侧的后部，用来使坦克在水上倒车和转向。倒车水道出口处焊有两块导向板。水门关闭后，水流经倒车水道改变方向，再通过导向板向前喷出，从而使坦克倒车或转向。

2. 推进器

推进器共有两个，分别位于水上分动箱的左、右两侧，由推进器体、主动轴及齿轮、被动轴及齿轮、叶轮和前、后水头组成（图 9-4-7）。

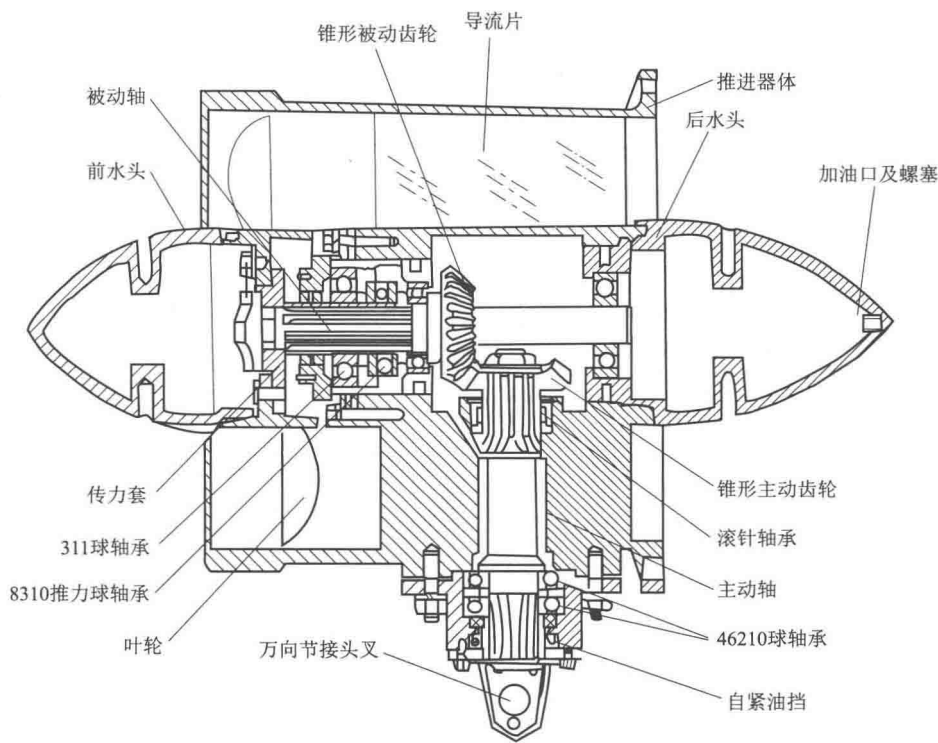


图 9-4-7 喷水推进器

推进器体的两端通过结合盘分别与进水道和水道弯管连接。推进器体内导流片用来将水的螺旋运动变为直线运动，使水流的一部分旋转力量变为坦克前进的力量。

主动轴通过两个 46210 球轴承和一个滚针轴承支承在推进器体上，其外端的花键上装有万向节连接节，内端的花键上套有主动锥齿轮并用螺帽固定。

被动轴依靠 311、46210 和 407 球轴承并通过被动轴承座支撑在推进器体上，并用 8310 推力球轴承轴向定位。轴的花键上套有被动齿轮和传力套。在被动轴承座内装有两个骨架

密封。

叶轮有四个叶片，叶轮毂通过定位销和连接螺栓装在传力套上，用固定螺帽固定。

前水头以螺纹（左螺纹）固定在叶轮毂上，并随叶轮毂一起转动；后水头的螺纹拧在推进器体上，其顶端有加油口及锥头螺塞。

3. 水门及操纵装置

水门用方键和固定螺帽固定在水门轴上，水门轴通过滚珠轴承和滚柱轴承支撑在车体尾部垂直装甲板上。轴承固定套上有注油口及螺塞。

水门操纵装置通过开、关水门使坦克前进、转向或倒车，它由水门操纵杆、支架、纵拉杆、横轴、垂直轴、水门拉杆和拉臂组成。

水门操纵杆共两根，通过轴装在支架内，可在支架的中间纵格槽内向前、后移动。操纵杆在最前位置时，水门完全开启并被挡铁顶住；操纵杆向后并且其定位卡铁卡在支架纵格槽的缺口时，水门完全关闭。

（二）工作

图 9-4-8 所示为我国某步兵战车水上航行采用的喷水推进器，它用来将左（右）水上传动箱传来的动力变为喷水推力，使车辆在水上航行。

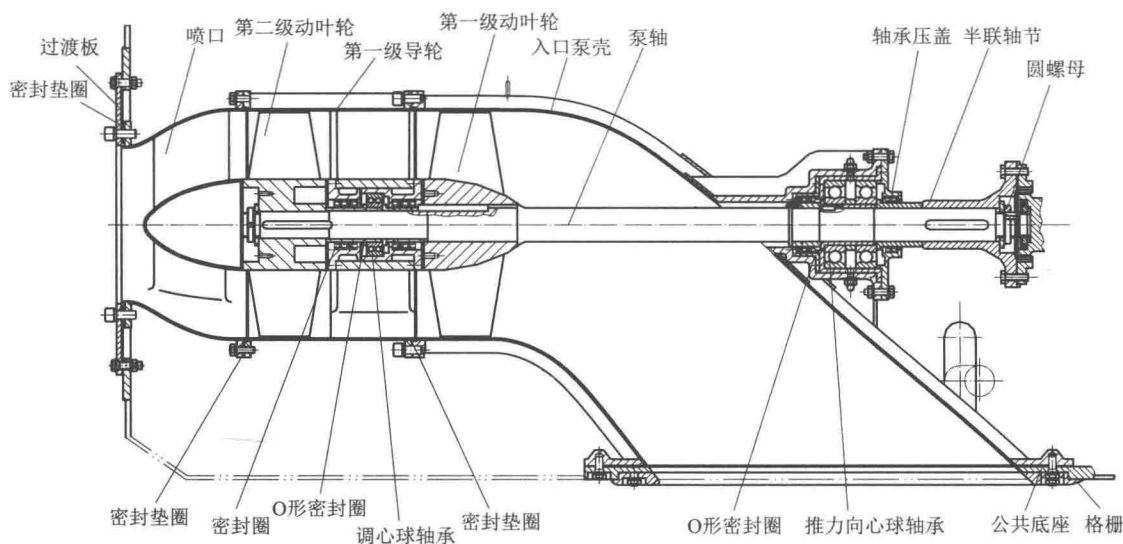


图 9-4-8 喷水推进器剖面图

喷水推进器为卧式双级轴流泵，由水管道、第一级动叶轮、第一级导叶体、第二级动叶轮、第二级导叶体（喷口）、轴系、公用底座、格栅、压板、过渡板、密封件等组成。

第一、二级动叶轮是喷水推进器的主要零件，分别以方键定位在泵轴上。动叶片共有 6 片。

第一、二级导叶体通过焊接成型，共有 7 片。

进水管采用双层结构以形成冷却夹层，用来冷却主机。

轴系用来接收水上传动箱传来的动力，并带动第一、二级动叶轮旋转，它由泵轴、调心球轴承、推力向心球轴承、轴承座、轴承压盖、轴套、半联轴节、圆螺母、止动垫片、方

键、连接齿套、密封件等组成。

泵轴是一个长轴，靠动叶轮端开有两个方键槽，另一端开有一个方键槽。泵轴两端用轴承支撑，一端以调心球轴承支撑在第一级导叶体内；另一端以两个推力向心球轴承支撑在轴承座内，轴承座安装在轴套内，轴套固定在进水管道上。半联轴节以方键安装在泵轴上，并用螺栓与连接齿套相连，成为水上传动箱传来的动力接收端。第二级动叶轮和半联轴节都是通过螺母来实现轴向固定的。

公用底座与车底板焊接，其上安装有进水管道和格栅，格栅用来防止吸入的漂浮物打坏叶轮。

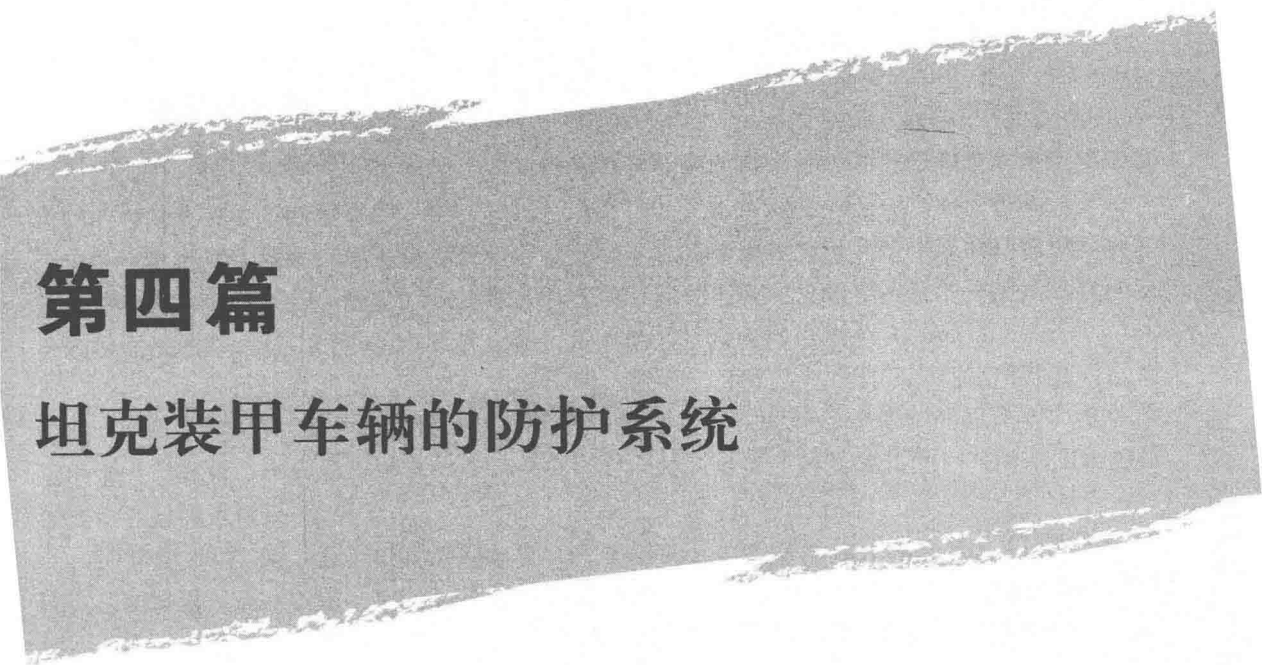
压板和过渡板安装在进水管出口，其内端装有密封垫圈。

喷水推进装置的工作过程如下：挂水上挡时，发动机的动力经综合传动装置传给分动箱，分动箱传出的动力经左、右水上传动箱传给喷水推进器的泵轴，使第一、二级动叶轮旋转；水从进水管被吸入，然后经动叶轮进入管道内，接着在第一、二级导叶体叶片作用下由螺旋运动变为直线运动，最后以高速从尾喷管喷出而产生推力，推动车辆前进。

车辆水上航行的快慢、倒车和转向由操纵机构控制左、右喷水推进器的水门来实现。

当两侧水门都关闭时，水流从倒车水道向前喷出，使坦克向后行驶。

当关闭一侧水门时，从该侧倒车水道喷出的水流与另一侧水道往后方喷出的水流形成力偶，使坦克向关闭水门的一侧转向。



第四篇

坦克装甲车辆的防护系统

第十章

防护材料与技术

一、防护的发展

作为坦克装甲车辆三大性能之一的防护能力，是随着科学技术的进步和在与反装甲武器之间的相互竞争中不断发展的。

第一次世界大战中，坦克第一次出现在战场上，其装甲仅为十几毫米厚的均质钢，只能防机枪火力和炮弹破片。随着战争的深入、火炮口径的增大和反坦克武器的发展，坦克的防护装甲逐步加厚，至 20 世纪 30 年代后期，坦克的装甲最大厚度增至 90 mm。

随后，各种反坦克武器和新弹种相继出现，在第二次世界大战期间，坦克前部装甲已增加到 100 mm，装甲材料的抗弹性能也有了显著提高，坦克的外形也得到明显改善，车体前装甲增大了倾角，出现了焊接车体和铸造炮塔。同时，烟幕、迷彩等其他一些简单实用的防护技术和措施也被采用。

20 世纪 50 年代，由于核武器的出现，一些坦克开始安装防原子弹装置。20 世纪 60 年代，三防装置、灭火设备、屏蔽装甲和水套式弹药存储装置等特种防护装置相继出现在坦克装甲车辆上。反坦克导弹的迅速发展，迫使坦克增加装甲厚度，如英国的“酋长”坦克前部装甲厚度达到了 150 mm。

20 世纪七八十年代出现的第三代坦克采用了各种形式的特种装甲，如复合装甲、贫铀装甲、间隙装甲及爆炸反应式装甲等，装甲防护技术也得到了显著提高。坦克主要部位装甲的形状、倾角和装甲壳体的外形尺寸也逐渐趋于合理。有的坦克还采用了无炮塔的总体结构，目的是降低被发现和命中的概率。

随着科学技术的发展，坦克装甲车辆防护技术不断进步，如新的复合材料、模块化装甲结构、衬层技术、各种告警装置、光电对抗装置、反坦克导弹拦截装置等。目前，国外仍在积极研究新的防护技术，如先进装甲材料、新的装甲结构、各种新概念装甲、主动防护技术、战场敌友识别技术、隐身设计等，这些技术的应用将极大地提高坦克装甲车辆的战场生存能力。2015 年，俄罗斯阅兵的 T14 坦克首次采用了无人炮塔。

在未来的战场上，精确制导武器和核武器、生化武器将对坦克装甲车辆构成全方位立体的威胁，新型反坦克导弹和智能型攻顶甲弹药将使传统的防护技术失去优势，高性能热成像系统、毫米波雷达等先进传感器的应用将使昼夜远距离发现目标、自动跟踪和打击成为可能。在与反坦克装甲车辆武器对抗中，坦克装甲车辆防护能力必须相应提高，才能保证这些车辆及乘员在未来战场上的生存能力。因此，由三个距离段的“五层防护”系统组成的新

概念防护系统成为未来发展趋势（图 10-0-1）。

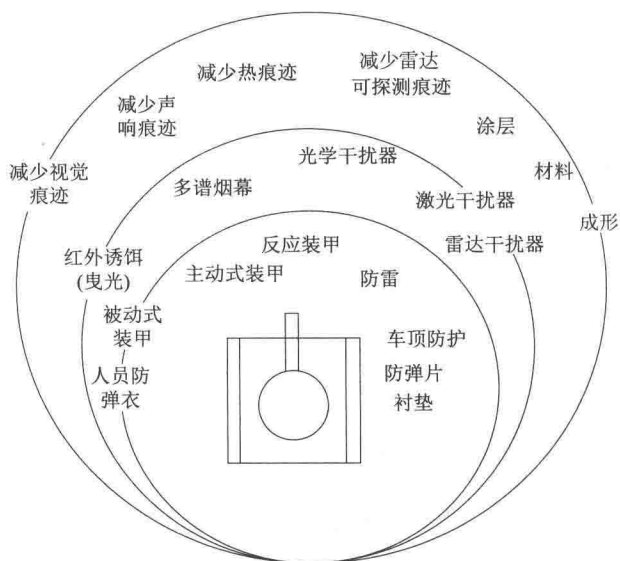


图 10-0-1 现代坦克“三段”五层防护

这五层防护系统是：

（1）避免被发现

车辆通过形体防护、传统视觉遮蔽防护以及现代隐身技术防护等反侦察、反探测系统，来避免被敌方的侦查系统发现。

（2）避免被跟踪

车辆采用干扰、观瞄压制、导弹探测与拦截、多光谱烟幕发射等装置构成的主动防护系统，即如果被发现，避免被对方武器跟踪和瞄准。

（3）避免被击中

车辆通过采用干扰、假目标等手段，使来袭弹药偏离，或采用主动防护系统拦截来袭弹药，即如果被跟踪瞄准，则避免被击中。

（4）避免被击穿

车辆通过主装甲基本防护系统来削弱来袭弹药的威力，即如果被命中，则避免被击穿。

（5）避免被击毁

车辆通过装备灭火抑爆装置来防止二次效应，即如果被击穿，则避免被击毁（击伤）。

二、装甲防护材料

（一）钢装甲

钢具有优异的性能，经过适当的调质和热处理后，还可以具有分解或吸收能量的性能。从第二次世界大战至今，均质装甲钢是被广泛采用的装甲材料，它是通过轧制、淬火硬化、回火处理而成，具有均匀微结构并达到合适的韧度和刚性。

钢装甲材料有均质装甲钢、高硬度装甲钢和双硬度装甲钢等。

布氏硬度值超过 430 HB 的均质装甲钢称为高硬度装甲钢,其制造方法与均质装甲钢的类似,但回火温度稍低。瑞士莫瓦格公司的皮兰哈轮式装甲车族就采用了高硬度钢装甲,可以防御 7.62 mm 步枪弹。其他安装高硬度装甲的车辆包括凯迪拉克·盖奇公司生产的“黄貂鱼”轻型坦克和 LAV 300 轮式装甲车族。

采用不同的处理方法可以使同一块装甲的不同层面具备不同的性能。目前通常采用表面淬火法,使韧性较好的装甲衬层可以抑制装甲的裂纹扩展,硬度较高的防护层可以使侵彻弹丸碎裂分解。这就是双硬度装甲钢。双硬度装甲技术仍是当前美国装甲板的主要生产技术之一。生产双硬度装甲时,将两块镍合金钢板辊压接合在一起,经过热处理后,轧制装甲一面含碳量高、硬度大,布氏硬度值达到 580 HB~710 HB,而另一面硬度较低,布氏硬度值为 450 HB~530 HB,能保持较好的韧性。

近年来,一种多孔高硬度钢装甲板与轻质的附加式装甲系统组合在一起使用的方式很常见。装甲板上的钻孔使侵彻弹丸产生不对称负载,导致弹芯在侵彻装甲板时产生弯曲负载,使侵彻过程不稳定,甚至造成弹芯断裂。多孔装甲系统主要用于步兵战车和装甲人员输送车的顶装甲。20 世纪 80 年代,以色列入侵黎巴嫩时,M113 装甲车上就使用了拉斐尔公司生产的 TOGA 附加被动装甲。

(二) 铝合金装甲

铝合金装甲的应用始于 20 世纪中叶,其使用范围涵盖装甲输送车、步兵战车、轻型坦克和中型坦克。与钢装甲相比,在同等防护水平下,铝合金装甲可减重 20% 左右。20 世纪 50 年代,美国研制了 5083 和 5046 (Al-Mg-Mn) 合金装甲板,并将其用在了 M113 装甲输送车上。同时期,英国研制了 D54S (Al-Mg) 合金装甲板。

20 世纪 60 年代,美国研制了可热处理强化的 7039 (Al-Zn-Mg) 合金,该合金是美国目前应用的主要装甲材料,已用于 M551 “谢里登”轻型坦克、I—VTP12 水陆两用突击车和“布雷德利”步兵战车的装甲上。英国研制了中等强度、耐腐蚀的可焊铝合金 7020,高强度、可焊铝合金 7017 以及可焊 50 mm 以上厚度的 7018。英国“蝎”式轻型坦克、“狐”式装甲车均应用了 7017 型铝锌镁合金装甲。

铝合金装甲突出的缺点是在受到攻击而产生抗拉应力时,常发生应力腐蚀断裂;在加工、组装或焊接过程中产生的残余应力均有可能引起铝合金疲劳;另外,铝合金的抗裂强度比钢的低,容易碎裂,而且熔点也比钢的低,温度升高时很容易变软,变成碎粒后有可能会燃烧。

为提高铝合金抗弹性能和抗应力腐蚀性,美国研制了 2519-T87 铝合金,它既具有与 7039-T64 相当或更高的抗弹性能,也具有 5083-H151 优良的焊接性和抗应力腐蚀性。美国最新研制的 2139T8 和 2195T8P4 铝合金,相比于前述铝合金装甲材料,具有更加优异的力学和抗弹性能。

我国从 20 世纪 60 年代末开始研制自己的铝合金装甲,先后研制了 523、528、5210、S-183、184、185 等铝合金装甲材料。目前已经研究开发出具有自主权知识产权的 Al-Cu 系第三代铝合金装甲材料——2519A 铝合金装甲材料。

(三) 钛合金装甲材料

钛合金是性能优异的装甲防护材料,其韧度好于铝合金,强度相当于装甲钢,密度为装

甲钢的 60%。与同等厚度的均质钢装甲相比，其防护性能高了 30%~40%。但是高于同等防护性能钢装甲 10~20 倍的成本，限制了钛合金在坦克装甲车上的应用，目前，钛合金主要用于舱盖部件、附加顶装甲、炮塔座圈、车长舱盖、发动机顶盖等部位。

另外，钛合金也有其自身缺陷，即在一定的应力条件下，如弹丸的一小部分动能作用在装甲板上形成剪切应力时，钛合金比钢更容易因产生绝热剪切而断裂。

(四) 陶瓷装甲

20 世纪 60 年代，加利福尼亚大学的威尔金斯教授指出，陶瓷高硬度和低密度的特性将使其成为制造装甲系统的理想材料。从那以后，人们开始进行大量的研究以验证陶瓷装甲的最佳性能、结构和用途。

陶瓷是由细小的粉末和少量其他元素在一定的温度和压力条件下烧结而成的多晶材料。陶瓷材料的优点是硬度和抗压强度高，能防护高速穿甲弹的侵蚀，如装甲陶瓷的维氏硬度值为 1 500 HV~3 500 HV；陶瓷密度为均质装甲钢的 25%~50%，有利于减小装甲质量；陶瓷材料耐热性好，利于抵御高温射流的侵蚀。

陶瓷材料的缺点是塑性差、断裂韧度和成型尺寸小，不能作为均质装甲单独使用，通常与金属材料、树脂基复合材料等构成复合装甲。

陶瓷装甲材料主要有碳化硼、硼化钛、氧化铝、碳化硅、氮化硅等。碳化硼 (B_4C) 硬度最高，密度最低，在 20 世纪 60 年代就被用于制造防弹背心，是理想的轻型装甲陶瓷材料，但其价格昂贵，主要用于对质量要求极严格的飞行器、车辆、舰船等。尽管 B_4C 装甲价格高昂，但在以减重为首要前提的防护系统中， B_4C 仍是优先选用的材料；硼化钛 (TiB_2) 硬度高，密度较大，可防大口径弹的侵入，可用于战车的装甲面板，是较理想的重型装甲材料；氧化铝 (Al_2O_3) 抗弹性能略低，但烧结性能好、制品尺寸稳定，并且表面粗糙度低、价格低廉，因此被广泛应用于各类装甲车辆、飞机机腹、飞行员和要害部件的防护等；SiC 的密度在 B_4C 和 Al_2O_3 之间，其质量比 Al_2O_3 小 20%，硬度和模量较高，而且价格比 B_4C 低得多，可用于装甲车辆和飞机机腹装甲。

陶瓷材料仍是当今各国致力研究的装甲材料，重点是如何提高其韧性并降低生产成本。

(五) 防弹纤维及其树脂基复合材料

纤维增强树脂基复合材料是目前发展较快的装甲材料，经历了由早期的尼龙纤维、碳纤维、玻璃纤维，到现今性能较好的芳纶纤维和超高分子质量的聚乙烯纤维。

1. 芳纶

芳纶是美国杜邦公司在 20 世纪 50 年代开始研发的防弹纤维，于 60 年代正式投入市场，其抗弹能力是同质量均质装甲的 5 倍。芳纶聚合物大分子的主链由芳香族和酰胺键直接键合在芳香环上，结构式如图 10-0-2 所示。到 1974 年，杜邦已生产 Nomex、Kevlar、Kevlar29 和 Kevlar49。20 世纪 80 年代以后，荷兰、日本、俄罗斯和中国相继生产出芳纶。

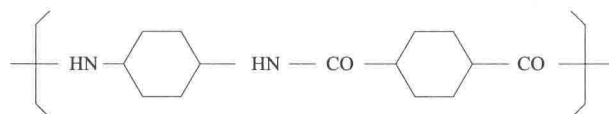


图 10-0-2 对位芳纶的结构式

Kevlar 纤维的特点是密度低、比强度高、断裂延伸率高、耐高温、抗破坏力强、易于加工和成型,具有优异的防弹性能和防中子辐射性能,因此在军事上被称为“装甲卫士”。Kevlar 纤维是典型的纤维复合材料,已被多国列为复合装甲的主要材料之一。美国陆军采用 Kevlar 纤维复合材料制造的防弹衬层,曾装备在 M-113A3 两栖装甲输送车内部结构的关键部位,用来对破甲弹、穿甲弹和杀伤弹的冲击和侵彻提供后效装甲防护,相似的衬层也装备在 M2/M3 布雷德利战车上。俄 BTR-90 装甲车、瑞典 CV90 履带式装甲战车族,均采用芳纶复合材料作为防崩落衬层。

近几年, Kevlar 纤维又有新的发展,如超高强 Kevlar129 的拉伸强度比 Kevlar29 提高了 20%,并且其韧性更高。

2. 超高模量聚乙烯纤维

UHMWPE 纤维是继芳纶之后开发的第三代抗弹纤维,具有高强、高模、低伸长率以及比水还轻的低密度,还具有强的吸收冲击能量的能力。由于氢原子含量高,它有着优良的防中子弹和防 γ 射线性能。荷兰 DSM 公司 1979 年生产的 Dyneema 纤维是世界上第一种超高相对分子质量聚乙烯纤维(UHMPE),其密度低至 0.96 g/cm^3 ,在抗冲击防护材料中得到广泛应用。

德国的海岸巡逻舰、芬兰的轻型轮式装甲车均大量采用 Dyneema 防弹板。用 Dyneema 制成的新型衬层也已应用于德国的“豹 II”坦克的最新车型和荷兰陆军的 XA-188 6×6 装甲输送车上。

DSM 公司使用了 UHMPE 纤维(超高模量聚乙烯纤维)和纱线制成用于人体防护的 HB51,以及用于车体防护的 HB26。相比于美军原有的防护装甲,HB51 在性能提高了 20%,而质量却并未增加。

3. 聚苯双噁唑纤维

聚苯双噁唑(PBO)纤维是道化学公司和东洋纺织公司在 1995 年合作生产的高性能纤维。其强度、模量、耐热性和阻燃性都远远超过 UHMWPE 纤维和芳纶,而且它的耐冲击性比芳纶和碳纤维的要高很多。PBO 纤维还具有热稳定性高、高温高湿下的强度保存率高、耐化学性优良、耐磨、蠕变低以及绝缘性好等特性,被视为新一代装甲防弹纤维。

三、防护技术

(一) 直接防护

直接防护是坦克装甲车辆各部位的装甲对来自各种反坦克武器弹药的直接攻击的防护能力。

直接防护要求装甲有足够的硬度、强度和韧性,能抗击各种反装甲武器的攻击,也就是说,即使被击中,装甲也不能被击穿;即使被击穿,也能减弱杀伤和破坏的“二次效应”作用效果。

直接防护的手段主要是各种均质装甲和非均质装甲。

1. 均质装甲

均质装甲是通过轧制、铸造等方法制成的高强度、耐高温、高韧性合金(或含钛合金)及非晶态合金装甲板,其化学成分、金相组织和机械性能基本相同,常用于制造车体和炮塔的主体装甲。

均质钢装甲材料一般是在含碳量 0.25%~0.50% 的中碳钢中加入一定量镍、铬、锰、钒等合金元素熔炼而成的，也有的国家在碳钢中加入稀土元素，形成低合金装甲钢。

均质装甲钢按其硬度可分为高、中、低硬度三种。高硬度装甲在弹丸冲击下不易变形，可以撞碎来袭的穿甲弹弹丸；但它的韧性较低，易破碎或崩落。低硬度装甲板的情况与上述情况正好相反。

虽然装甲的类型有许多种，但各国坦克、装甲车辆应用最多的是轧制的装甲。

轧制的装甲板是经过一系列的工艺方法轧制成的。现在各国所用的均质轧制钢装甲板，有镍铬铝钢、锰铬铝钢、锰相钢、锰硅铬钢。轧制的均质装甲经过轧制后，使得结构组织致密，具有较好的抗弹性能，因此在各国坦克和装甲车上广泛应用。

除轧制装甲外，铸造装甲也是坦克装甲车辆常用的装甲。铸造装甲是将装甲合金钢水通过砂型浇铸成战车炮塔和车体形状的装甲铸件。铸造装甲的优点是装甲可浇铸成任意的形状，可以实现人们所要求的厚薄和倾角，有利于提高抗弹性能。目前俄罗斯的新式主战坦克 T-72 和 T-80 的炮塔仍然采用铸造装甲。

除钢装甲外，铝合金装甲也常作为轻型坦克或装甲车辆的主装甲。

2. 复合装甲

20 世纪 70 年代初，苏联首先在 T-72 主战坦克上采用内外层为钢板、中间层为沙和石英的复合装甲。英国于稍后的 1976 年 6 月在乔巴姆镇秘密研制了新型装甲，并将其命名为乔巴姆装甲（图 10-0-3）。这种装甲是通过在两层装甲中装入氧化铅、碳化硼、碳化硅和氧化铍而制成的，其形状如房顶外搭边排列的陶瓷板。这种装甲首次安装在伊朗“师 2”型坦克上，目前，“挑战者”系列、M1、“豹 II”等主战坦克都采用了这种复合装甲。现在这种装甲已成为各国普遍应用的主要装甲。

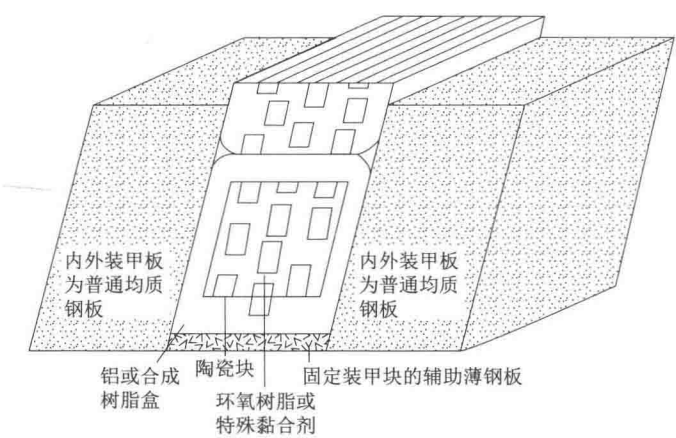


图 10-0-3 英国乔巴姆装甲结构图

复合装甲与一般单体的均质装甲不同（图 10-0-4），它是由两层及两层以上金属或非金属材料制成的装甲。一般来说，复合装甲外层采用破坏穿甲弹性能、削弱其作用的高硬度、低韧性材料装甲；中间层采用吸收弹丸动能及压力波振动能量，并使破甲弹射流偏离的非金属材料装甲；内部采用不开裂、不破碎的低硬度、高韧性的材料装甲。

美国的复合装甲是由若干层组成的，每一个单层的结构是在“凯芙拉”微孔网织品的

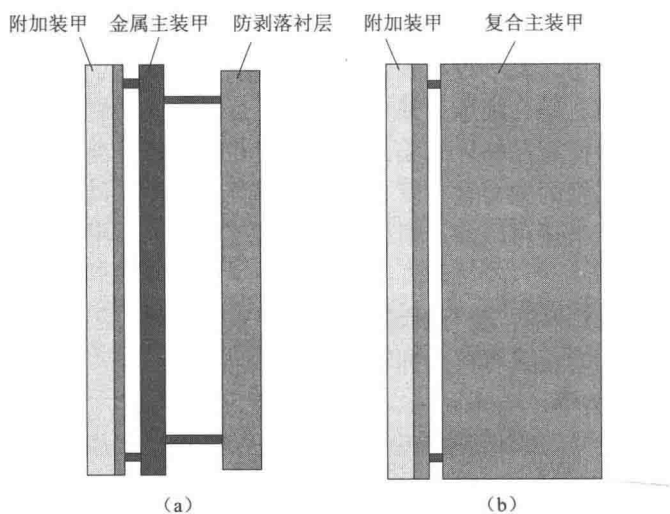


图 10-0-4 金属装甲和复合装甲的结构对比
(a) 金属装甲系统；(b) 复合装甲系统

两面黏结有铁合金的薄板，如图 10-0-5 所示。

苏联的装甲技术具有独特之处。T-72BM、T-80U、T-90 主战坦克采用了 5 层钢板与含玻璃纤维的夹布胶木板交替叠加的复合装甲。到了 20 世纪 80 年代，苏联装甲工艺技术进一步发展，其 T-72M1/M2 坦克的炮塔前缘则加装了弧形的复合装甲。

复合装甲抗击空心装药弹的能力最为明显。与均质装甲相比，在同等质量下，复合装甲抗空心破甲弹的防护能力提高 2~3 倍。法国勒克莱尔主战坦克装有模块化陶瓷复合装甲，对付动能穿甲弹的能力较等量普通装甲提高 1 倍。

3. 间隙装甲

采用钛合金防弹钢的装甲板之间有多层空气隙，能使弹丸在穿甲或破甲时由于阻力改变而产生偏离，从而降低其破坏力。破甲弹命中装甲后会形成强大的金属射流，空气层能使射流拉伸变细，使其冲到后面的装甲板时就没劲了。在装甲被动能弹命中、弹头倾斜穿过第一层装甲后，空气介质能够使弹芯发生倾斜、偏转，降低其破坏威力。

4. 格栅装甲

格栅装甲是一种为防止火箭筒发射的火箭弹聚能装药引爆而研制的、安装在装甲车体外部的非常规装甲。当前锥体一侧击中格栅装甲时，其侧缘受到挤压，使内外锥体相碰造成引信短路，从而阻止聚能装药引爆。阿富汗战争时期，苏军在部分 T-62 主战坦克上安装了条形格栅装甲。伊拉克战争后，条形格栅装甲开始得到大规模应用。美国“斯特赖克”装甲车、英国“弯刀”轻型侦察车、俄罗斯 BMP-2 步兵战车和 BTR-80 装甲输送车等先后安装了条形格栅装甲。

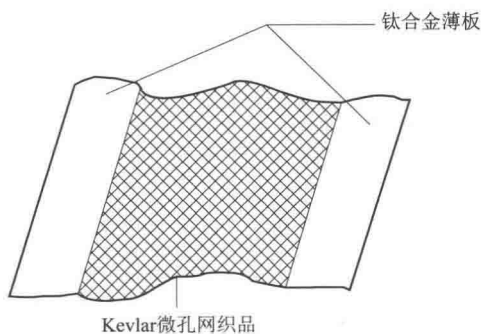


图 10-0-5 复合装甲组件

5. 贫铀装甲

贫铀装甲又称铀装甲，是一种以铀合金为主体的复合装甲。贫铀装甲的主体是铀-钛合金或碳化铀一类的材料，是在纯金属铀中加入某些合金元素而制成的。贫铀装甲是用拉制方法制成的单晶体，几乎没有晶格体缺陷，而且强度和硬度相当高，现有的常规反坦克武器都不能将其击穿。网状结构的铀合金在复合装甲中起骨架作用，网格之间加入防止铀合金氧化的材料。这种蜂窝状结构还可以加入吸能材料，因此，贫铀装甲既能对付穿甲弹，又能对付破甲弹。

在 1991 年的海湾战争中，装有贫铀装甲的美国 M1A1 主战坦克表现出色，使得贫铀装甲名声大噪，但到目前为止只有美国拥有这项技术。

6. 反应（爆炸）装甲

爆炸反应装甲是在平行面板和背板的两块钢板中间夹一层炸药而制成的。这种炸药是一种钝感炸药，具有一定的引爆条件，用它制成的爆炸反应装甲只能由破甲弹、导弹一类的弹药引爆，而对 20 mm 口径以下的小型弹、炮弹破片、电弧焊、气焊等不敏感。

当空心装药弹击中一块反应式装甲单元时，破甲射流的很大能量使夹在中间的钝感炸药爆炸，产生的爆轰波使爆炸反应装甲的面板和背板沿一定的角度向外飞出，从而分散和干扰了射流的能量，减弱射流对装甲的侵彻作用，使空心装药弹的破甲威力大大降低，如图 10-0-6 所示。

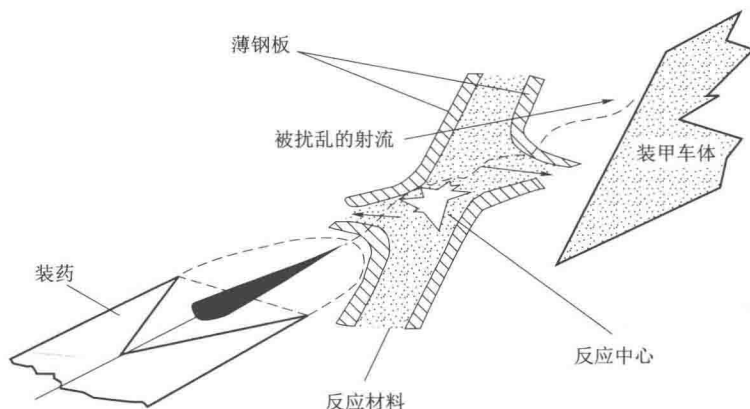


图 10-0-6 反应式装甲的作用原理

以色列拉菲尔公司于 1970 年成功研制了反应式装甲。1982 年，以色列入侵黎巴嫩时，首次在以色列的“逊邱伦”、M48 和 M60 坦克上挂装了反应式装甲。战斗结果证明，反应式装甲能提高坦克和乘员的生存能力。苏联通过叙利亚获得这种装甲后，成功地仿制了这种反应式装甲，并将其安装在 T-72 和 T-80 主战坦克上。

俄罗斯新研制的 T-90E 主战坦克安装了第二代反应式装甲，它不易被小口径的弹药诱爆。俄罗斯研制的反应式装甲不但能防空心装药弹的攻击，也能防动能弹的攻击。

法国陆军为其快速部署部队的 AMX-30 坦克安装了“布雷尼”BSG2 爆炸反应式装甲。60°水平倾角挂装的反应式装甲，其防护力相当于 400 mm 厚均质装甲板的防护力，而质量只有相同尺寸的均质装甲的 $\frac{1}{9}$ 。

7. 新概念装甲

(1) 电磁装甲

电磁装甲是一种依靠储存的电磁能使来袭弹丸失去侵彻能力或者降低其侵彻能力，或者通过主动拦截而达到保护战斗车辆目的的防护装置。

电磁装甲可分为被动式和主动式。

被动式电磁装甲的防护原理是：将两块有一定距离间隙的装甲板分别连接高功率电容器的两极，当破甲弹爆炸的金属射流或穿甲弹芯穿过两层装甲板，并且将内外板导通时，电容器放电形成强磁场。同时，射流或弹芯上有大电流通过，由于受到洛伦兹力和欧姆加热效应的影响，产生的磁流体动力效应导致射流或弹芯破碎，从而降低其侵彻能力（图 10-0-7）。

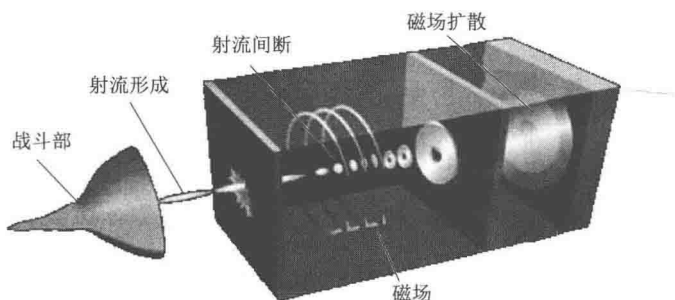


图 10-0-7 电磁装甲

主动式电磁装甲的防护原理是：首先通过探测装置对来袭弹丸的方位、速度、距离进行探测和定位，当弹丸飞至坦克装甲前方一定距离时，装甲会主动释放电能并立即转变成磁能，形成一道磁屏障将弹丸摧毁。

(2) 电热装甲

电热装甲与电磁装甲在结构上相似，也是由两层均质钢板组成的，外层板较薄，在两层金属板间填充有较薄的热膨胀绝缘材料。当空心装药射流或动能穿甲弹芯穿透绝缘材料层时，电容放电，在两层钢板之间产生强电流脉冲，其放出的热量使绝缘层急剧膨胀而将外层金属板抛离，快速抛离的金属板的切割作用导致射流或穿甲弹芯破碎或偏移，从而达到大大降低侵扰能力的目的（图 10-0-8）。

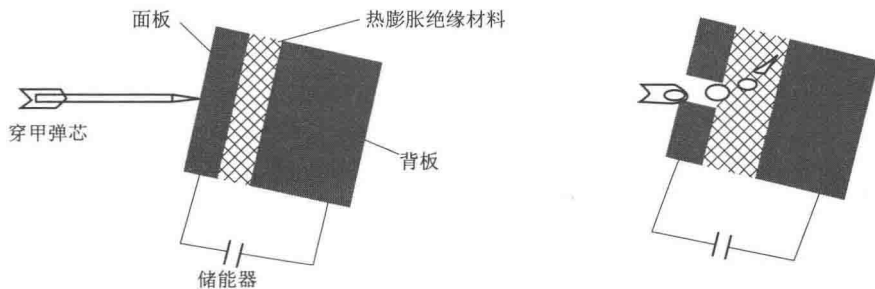


图 10-0-8 电热装甲

(3) 灵巧装甲

灵巧装甲是一项融合当代高新技术、具有革命性的装甲防护新技术，它更新了装甲防护

的概念。灵巧装甲的基本原理是把弹丸着靶产生的机械能快速转变为微动力装置的机械能。

1992 年，美国陆军推出了灵巧装甲研究方案，该装甲系统由装甲材料、传感器、控制器、微型动力装置、活动关节和自动修复系统组成，可对付穿甲弹、破甲弹和灵巧弹药等多种弹药。当系统受到弹药威胁时，能动地改变射流或弹丸的动能方向（图 10-0-9），具体过程是：传感器在数微秒内把射流或弹丸的撞击方向及着速等数据传递给控制器，控制器控制活动关节动作，改变弹靶之间的相对角度，降低射弹的侵彻力；而自动修复系统会修复遭受破坏的装甲部分。活动关节是灵巧装甲与车体之间的连接纽带，由电流流变体制成。在适当的时候，电流流变体接受施加的电压，然后其黏度发生变化，导致活动关节旋转，从而改变弹与靶之间的相对角度。

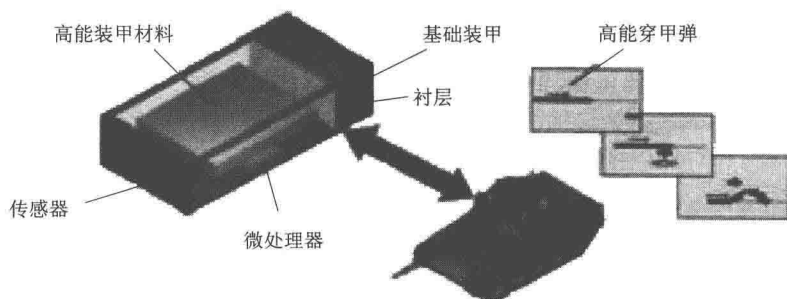


图 10-0-9 灵巧装甲的作战概念和工作原理

（4）滑块装甲

所谓滑块装甲，就是在装甲夹层上设置有高速滑动的装甲块，以它来横向撞击入射侵彻的穿甲弹杆，使之被切断或变形。滑动块可以是一块，也可以是两块。有的双向滑动块用先进的陶瓷活动板或高强度装甲板在导轨上迅速滑动，然后滑回原位，其作用时间只有百分之几秒。滑块装甲的关键技术是迅速取得装置的启动信号和高速的推动力。这种滑块通过机械能、电能、爆炸能获得高速运动，高速运动的滑块阻挡、击断或摧毁侵彻体，从而产生抗弹效果。

（5）主动反应装甲

德国莱茵金属有限公司于 1996 年发明了一种新颖、简便的主动反应装甲系统，其从外向里的结构是：防轻武器弹药的被动装甲板，上、下表面覆盖传感器薄膜的被动装甲板，防空心装药射流的抗弯曲板，设置在坦克装甲表面上的多个楔形爆炸反应组件。它们被隔板隔开。两片传感薄膜分别与车内的电子监视系统或火控系统相连接，其防护过程是：当射弹触及传感薄膜时，传感器感知射弹的飞行方向和位置，把引爆信号输送到相应的爆炸反应块上，使其提前爆炸，从而以最佳方式拦截和破坏射弹；在传送引爆信号的同时，信号也传给电子监视系统，电子监视系统计算射弹的速度和发射位置，并把这些数据传送到火控系统中，火控系统控制车载武器向炮弹发射点射击。

该系统使得被防护的坦克采用中等厚度的主装甲就能有效防动能弹，特别适合于对静态和动态目标（如车辆、掩体、掩蔽部和舰船等）进行防护。这些主动反应装甲的防护作用机理不同于以往的反应装甲，它对于中、低速的反坦克弹药是比较理想的，并可以实现，但对于高速动能穿甲弹的反应时间则显得相对较长。

美国、英国也在研究相应的主动反应装甲。

(6) 智能装甲

智能装甲是国外着力发展的高新技术,它具备感知功能和驱动功能,可迅速、准确地测出来袭弹药的方位,并采取有效的对抗措施。智能装甲的传感器和驱动器皆由智能材料制成,响应速度快至微秒级。当装甲遭受侵彻时,微型传感器和驱动器指令能量对抗型的反应装甲、陶瓷装甲干扰抵消来袭弹丸的能量,起到有效的防护作用。例如,一种用来对付串联战斗部二级侵彻的多层智能反应装甲,其顶层有传感器,内层有控制装置及定向波发生器。当传感器感知来袭弹丸信息时,控制装置选择相应位置的定向波发生器对准来袭弹丸方向并产生动作,使炸药、固体板和泡沫金属相互作用,削弱或改变来袭弹丸的动能,降低其侵彻能力。

(二) 间接防护

间接防护是一种形体防护,通常是指装甲目标不被发现和命中的能力,具体指坦克装甲车辆的外廓尺寸和采取有利的抗弹外形所获得的防护效能。影响坦克装甲车辆形体防护的主要因素是外廓尺寸和形状,因此,减小外廓尺寸、设计合理的装甲壳体形状,有利于防护效能的提高。

在其他条件相同的情况下,坦克装甲车辆的高度对被命中概率的影响是明显的,因此,各国主战坦克的车高都趋向低矮。另外,采用自动装弹机,甚至采用无人炮塔,都可以降低车高。

为增强形体防护,除降低车高和缩小投影面积外,坦克装甲车辆还采用了合理的装甲壳体外形。车体和炮塔的前装甲中弹概率较高,是防护的重点,因此,各国装甲战斗车辆车首装甲的法线角都在逐渐加大(法线角是指垂直装甲平面的法线与水平线构成的角度)。加大法线角,不仅可以增加“跳弹”的可能性,而且可以增加虚拟厚度,即增加弹丸在装甲内贯穿距离。

(三) 隐身技术

车辆的隐身技术是由飞机隐身技术发展而来的,它通过降低信号特征而达到难以被敌发现的目的。

坦克装甲车辆动力舱的顶部装甲板是主要的红外能量发射源,是最易受到热寻的攻顶武器攻击的部位。隐身技术可以有效地降低红外辐射,防御直射火力和间接火力的威胁。在对方的武器明显占有优势的战场环境中,隐身技术显得尤其重要。

降低信号能够明显提高坦克装甲车辆的生存能力,如减少被探测到的范围或减少热信号、雷达信号和声音信号被探测到的可能性。据称,乌克兰设计的 T-84 改进型坦克的热源信号特征是原来的 $1/7 \sim 1/5$,雷达信号特征是原来的 $1/3 \sim 1/2$,可视信号特征是原来的 $2/33$ 。

(四) 烟幕技术

装甲车辆的烟幕技术发展于 20 世纪 60 年代,最初是由车辆发动机产生用于遮蔽可见光和近红外光的热烟幕,但耗油量较大,而且有效频谱较窄。现在的烟幕技术已有很大改进,既有热烟幕,也有抛射式烟幕。目前的多波谱烟幕弹既能提供红外波段遮蔽,又能提供可见光波段遮蔽,如 Galix13 烟幕弹,其有效波长为 $0.3 \sim 14 \mu\text{m}$ 。红外波段遮蔽可通过两种不同

类型的烟幕剂来实现：一种是本身发出红外辐射，形成热粒子幕；另一种是形成烟云，起吸收、散射和反射的综合作用。

烟幕弹通常在距离车辆 25~45 m 远、距离地面 4.9~10 m 高的空中爆炸，以便能够迅速地浮散开，遮蔽瞄准具的视线和威胁武器的飞行路径。

(五) 主动防护系统

在现代战争环境下，坦克面临多种类、高效能、远/近射程的制导/非制导和自寻的等反坦克武器的严重威胁。尽管现代装甲防护技术发展迅速，出现了多种复合装甲和爆炸反应装甲等新型装甲防护手段，但这些防护手段基本上处于单一的被动式防护。坦克装甲车辆的外形、红外等特征明显，普遍缺少必要的抗侦察措施，容易受到新式反坦克武器的打击。单纯采取被动式防护措施很难提高坦克装甲车辆战场生存能力，因此，主动防护系统应势而生。

主动防护系统 APS (Active Protective System) 或 ADS (Active Defense System) 是指采用施放烟幕、诱骗、干扰和拦截等措施，来防止被对方瞄准和来袭弹丸击中的积极主动的防护，是坦克装甲战斗车辆用于拦截、摧毁或迷惑敌方来袭弹药的自卫系统。它能够提前发现或检测到对自身的威胁，然后采取主动措施（如拦截、摧毁、干扰或迷惑等手段），在敌方导弹或炮弹击中战车前消除威胁，或最大限度地降低被命中的概率和被毁坏的程度。

试验表明，一辆坦克装甲车辆被命中，即使没有被击穿，其乘员的生存概率也只有 20%。因此，防止被命中是目前坦克装甲车辆防护环节中需要最先解决的问题。

计算机模拟表明：没有装备主动防护系统的装甲车辆的战场毁损率高达 50%，装有主动防护系统的装甲车辆则仅为 5%。因此，主动防护系统是提高坦克装甲车辆生存能力的有效途径。

目前，各军事大国相继研制出了几十种主动防护系统，主动防护技术也已经相当成熟，并且被认为是最有发展前景的防护技术。

1. 主动防护系统的组成

主动防护系统由探测定位系统、信息处理与控制系统以及对抗系统三大分系统有机组合而成（图 10-0-10），三个分系统可形象地比喻为人的眼睛、大脑和拳头。

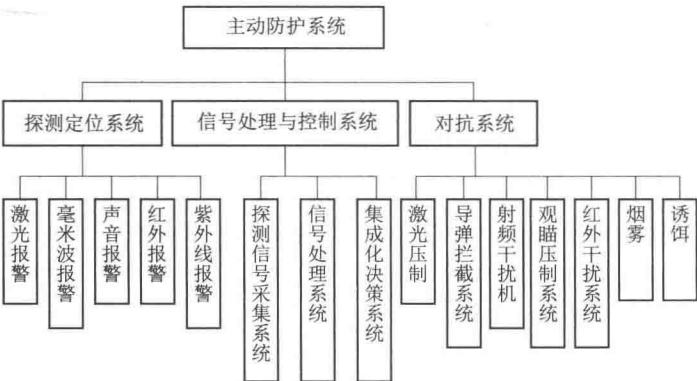


图 10-0-10 主动防护系统组成框图

(1) 探测定位系统

探测定位系统是能够探测威胁的一个或多个传感器。典型探测系统包括威胁告警器、提

示传感器和跟踪传感器，用于探测和跟踪反装甲武器发射的反坦克导弹、火箭弹等的激光警告装置、雷达探测与跟踪装置、紫外线探测系统等。

(2) 信息处理与控制系统

信息处理与控制系统是能够识别威胁并启动对抗措施的计算与数据处理装置，由计算机、控制软件、控制面板和指挥信号换流器等组成。系统根据传感器传递的来袭反装甲弹药信息，筛选、判断来袭目标，选择相应的命令，确定是否、何时以及如何应对。

(3) 对抗系统

对抗系统是主动防护系统实现最后致命一击的“铁拳”，是能够摧毁或以其他方式使威胁失效的对抗措施。对抗系统一般由拦截弹发射器和拦截弹组成，它按照控制系统的指令发射弹药（包括激光或红外诱饵、烟幕、水雾等），将来袭反装甲弹药致盲、引开、拦截或摧毁。

主动防护系统并不能彻底代替装甲。车辆装甲仍必须提供主动防护系统无法应对威胁的防护，这些威胁包括轻兵器、地雷和爆炸碎片，其中包括因主动防护击发所产生的榴霰弹残余效应。

2. 工作原理

装甲车辆主动防护系统工作原理如下：首先，探测定位系统的多频谱光学探测器、雷达、激光、红外探测器及核、生、化探测器等在一定距离上探测获取来袭弹药的特征信号；然后，中央处理器对所获取的多源特征信号进行分析，判断是否构成威胁，如果构成威胁，则进行报警，并按照一定的评估方法确定威胁源或威胁的种类、方位、距离等参数并判断威胁的大小、等级和程度；最后，系统适时发出控制信号，由计算机自动或由车长采取适当的对抗措施（图 10-0-11）。

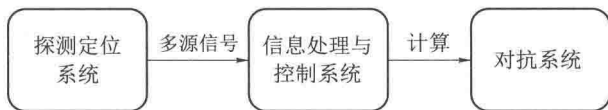


图 10-0-11 主动防护系统防护流程

3. 分类

主动防护系统根据工作方式的不同，可分为烟幕遮障式、光电干扰式、激光对抗式、拦截式主动防护系统等；根据对抗方式的不同，可分为硬杀伤、软杀伤及综合杀伤主动防护系统等。

(1) 软杀伤主动防护系统

软杀伤主动防护系统利用烟幕弹、干扰机、诱饵及降低特征信号等多种手段，使来袭弹药误入歧途，偏离预定攻击目标。

软杀伤主动防护系统的干扰手段主要有：烟幕弹、红外诱饵与干扰器、激光诱饵与激光眩目等。

具有代表性的软杀伤主动防护系统当属俄罗斯的“窗帘-1”主动防护系统，该系统是由俄罗斯“顶点”科研生产联合体研制的一种用于干扰敌方反坦克导弹系统、激光测距机和激光目标指示器的软杀伤性主动防护系统。

1) 俄罗斯“窗帘-1”主动防护系统

“窗帘-1”系统主要包括4个部分：2台带有调制器的红外干扰机；安装在炮塔两侧的一组六联装的烟幕弹发射器；由2个精确定位激光报警接收机和2个粗略调节探测头的激光报警接收机组成的激光报警系统；1个由控制面板、微处理机和手动控制烟幕施放面板组成的控制系统。

“窗帘-1”系统有全自动、半自动和人工手动紧急操作三种工作方式。一般情况下，当激光报警系统探测到威胁时，它会向车长发出警报。与此同时，控制系统发出电信号，自动将炮塔调整到面对威胁的方向，然后选择与激光束方向相对应的烟幕发射装置来发射全频谱烟幕弹。两台红外干扰发射机可在主炮两侧方向 200° 、高低 4° 的区域形成有效干扰。

“窗帘-1”系统曾安装于俄罗斯的T-80U、T-90坦克和乌克兰的T-84坦克上，并且经过车臣战争的洗礼。红外干扰系统可使“陶”“龙”“海尔法”“小牛”“狱火”“铜斑蛇”等反坦克导弹的命中率下降 $3/4 \sim 4/5$ ，使“霍特”和“米兰”反坦克导弹的命中率下降 $2/3$ ，使激光测距机辅助射击的各种火炮的命中率下降 $2/3$ ，可将坦克的防护能力提高3倍。

2) 德国“MUS”多功能主动防护系统

德国的“MUS”多功能主动防护系统由克劳斯·玛菲-韦格曼公司与伊兹公司携手打造，并安装在“美洲狮”步战车上。该系统主要由中央计算机、电子对抗装置、4台安装在炮塔上的导弹和激光告警器组成，其中告警系统和一个主动红外干扰发射机以及一个76 mm榴弹发射器相连接。

MUS工作过程是：发现来袭目标后，告警系统确定车辆是否正在被激光指示器瞄准，或者是否正面临被一枚来袭导弹袭击的危险；一旦确定面临的危险，传感器就将该威胁的参数传送给中央计算机，再由计算机决定采取何种对抗措施，在 $1 \sim 1.5$ s内自动启动红外干扰器向该导弹实施干扰信号，或者发射一个烟火式烟幕装置屏蔽掩护车辆，同时向车内乘员提示威胁方向。该系统的反应时间仅为1.5 s，能够同时应对4个来袭目标，可以为装甲战车提供 360° 和仰角 $0^\circ \sim 70^\circ$ 的保护。

其他软杀伤主动防护系统还有法国“勒克莱尔”坦克装备的Galix主动防护系统、俄罗斯Shtora主动防护系统、英国Erberus主动防护系统等。

软杀伤主动防护系统能够有效地欺骗、迷惑敌人或来袭威胁，但是这种防护方式有着自身固有的一些缺陷。电子对抗以及光电干扰的模式一般针对观瞄设备和制导弹药的寻的头，因此对步兵火力、单兵携带式的反坦克弹药以及其他一些非制导型弹药效果并不是很好。另外，软杀伤主动防护系统的反应时间一般为几秒，反应时间还不足以应对几百米甚至几十米的近距离潜在威胁。

(2) 硬杀伤主动防护系统

硬杀伤主动防护系统能在敌方导弹或炮弹击中车辆前对其进行拦截和摧毁，它是一种利用探测装置探测并跟踪来袭的目标弹药，由计算机判断来袭弹药特性（空间位置、速度、角度甚至大致的种类等信息），并发射防御弹药对来袭弹药进行拦截的防护系统。

硬杀伤主动防护系统的武器系统通常有：反作用装甲、空心装药阵列、机枪反导系统、榴弹发射器、智能反作用装甲等。

硬杀伤主动防护系统起源于20世纪60年代，当时美国就为坦克研制出一种称为“点撞击装置”的系统，其蓬勃发展始于20世纪70年代末80年代初。

典型的硬杀伤主动防护系统有俄罗斯的“竞技场”、以色列的“战利品”和“铁拳”、德国的“阿威斯”(Awiss)和AMAP、美国的“速杀”、乌克兰的“屏障”以及瑞典的LEDS-150等。

1) 俄罗斯“竞技场”主动防护系统

“竞技场”主动防护系统是俄罗斯KBM设计局于20世纪90年代初在“鹄”式主动防护系统的基础上发展起来的。系统包括多用途小型雷达、专用计算机和防御弹药,主要用于对付多种类型的反坦克威胁,能拦截和摧毁从任何方向飞向坦克、速度为 $70\sim 700\text{ m/s}$ 内、距离坦克50 m以外的各型反坦克武器,在所有战斗环境下为坦克提供 360° 范围防护。该系统是目前世界最先进的主动防护系统,也是世界上第一种投入实战的硬杀伤性主动防护系统。

“竞技场”主动防护系统全自动工作的原理是:当毫米波雷达探测到距坦克50 m处并在其探测范围内的飞行目标时,自动转换成跟踪方式;在跟踪飞行目标至距坦克20 m处时,将目标数据输给火控计算机进行分析处理。若火控计算机判断来袭弹药会命中坦克,则雷达确定精确跟踪数据,然后火控计算机决定发射哪种弹药和发射多少弹药以及发射弹药的确切时间,随即发出射击指令,在距离坦克 $1\sim 4\text{ m}$ 处引爆破片弹盒,在来袭威胁飞行的路径上生成一个锥形碎片区,使导弹或偏离轨迹,或被破坏,从而减少导弹对坦克的毁伤能力。一个破片弹盒发射后,在 $0.2\sim 0.4\text{ s}$ 内便可复位,以便对付下一个来袭弹丸。

“竞技场”系统不会对小口径弹丸、飞离坦克的弹丸、在50 m防护区域外的弹丸,以及坦克附近榴弹、地雷等爆炸扬起的土块、破片及不对向本坦克飞行的弹丸等虚假目标做出反应。和大多数其他主动防护系统一样,它不能有效对付高速导弹和动能炮弹。

“竞技场”系统有两种操作方式:一是全自动,二是手动控制。这种自动化系统可在完成对系统完好性能的控制后,自动进入战斗状态,乘员可集中全部精力完成自己的主要战斗任务,而不会再有任何额外负担。

2) 以色列“战利品”主动防护系统

“战利品”主动防护系统是2004年以色列拉斐尔武器发展公司与以色列航空工业公司/埃尔塔公司联合研制成功的。迄今为止,该系统已安装在“梅卡瓦”3/4型主战坦克和“斯特赖克”轮式装甲车上。

“战利品”主动防护系统是近距离反导防御系统,有威胁探测及寻的子系统 and 硬杀伤子系统两个主要组件。威胁探测及寻的组件为4台平板雷达,呈环状设置在装甲车的不同方向,以保证对周围情况进行全方位 360° 的监测;硬杀伤装置组件是系统的对抗弹药发射器,安装在车辆或炮塔的两侧。

“战利品”系统工作过程包括威胁探测、威胁跟踪并激活硬杀伤装置、消除威胁3个工作阶段,具体如下:一旦雷达捕获到来袭弹药,随即对其进行跟踪,并即刻计算出最佳拦截点,然后传送给拦截器。当来袭弹药将要击中车辆时,对抗弹药发射器立即朝着来袭威胁的方向发射 $1\sim 2$ 枚对抗弹,拦截来袭弹药,从而形成对车辆的 360° 防护。该系统能够在距车辆 $10\sim 30\text{ m}$ 的有效距离上同时摧毁多个攻击导弹,并能够将二次杀伤效应控制在最低限度。

“战利品”系统可在行进中、恶劣的天气环境下或者城市战中稳定工作,被以色列人冠以天下“大卫之盾”的美誉,并称其为“装甲防护领域革命性的设计”和“世上最强的主动防护系统”。

以色列还有一种用于多种战车的“铁拳”硬杀伤主动防护系统，它能有效地抵御各种反坦克火箭弹、反坦克导弹、破甲弹和动能穿甲弹，是世界上第一种能够防护动能穿甲弹的主动防护系统。

3) 德国 AMAP 主动防护系统

德国 IBD 公司研制的高级模块化装甲防护装置 AMAP 是一种自主式主动防护系统，它采用近距离“聚能聚焦爆炸”原理，即利用爆炸产生的冲击波摧毁化学能弹药，并能减弱动能穿甲弹的攻击效能。该系统能够实现顶部和侧部防护，可抵御破甲战斗部火箭弹、动能反坦克弹药和自锻破片弹。

AMAP 系统工作原理：系统在来袭威胁距车辆约 10 m 处探测到威胁，计算其飞行弹道和速度，判别威胁类型，并在 2 m 处释放能量将其摧毁（攻击弹药的引信、战斗部或动能

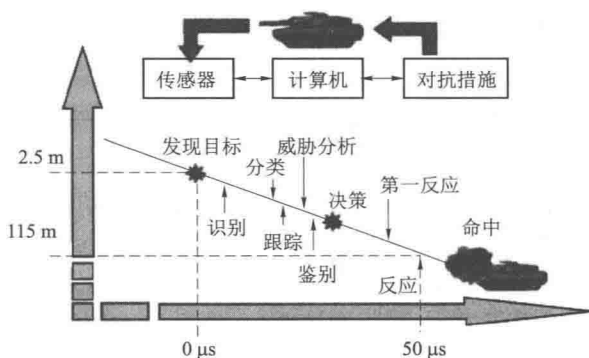


图 10-0-12 德国 AMAP 主动防护系统

穿甲弹的中间部位)。这种系统对近距离攻击具有最佳的防护效果。对抗弹的外壳采用非金属材料制造，因此爆炸时不会产生破片，并且对周围人员的伤害最小；但其要求车辆的装甲能够承受钨合金或贫铀穿甲弹体的碎片剩余能量的打击。该系统采用了光电传感器，部件由光纤连接，系统总的反应时间为 560 ms（图 10-0-12）。

该系统装备在德国新推出的“豹”2A7 主战坦克上，是目前唯一

的第三代主动防护系统。瑞典阿克斯公司研制的“主动装甲概念”AAC 系统和法国泰利斯公司研发的“鲨鱼”SHARK 系统已采用了 AMAP 主动防护系统。意大利依维柯公司从 2008 年开始在该公司生产的 LMV 轻型轮式装甲车上配备 AMAP 系统。

4) 美国“速杀”主动防护系统

“速杀”系统是美国 Raytheon 公司开发的主动防护系统。该系统由“眼镜蛇”雷达系统和“速杀”拦截系统组成。“眼镜蛇”雷达系统的功能包括监视、宽带保密通信及敌我识别等。这是一种先进的电扫描固态相阵控雷达系统，能探测和跟踪当前和未来战斗车辆所面临的各种威胁（从近距离发射的火箭弹到远程动能弹）。该系统首先搜索、跟踪来袭威胁，然后计算来袭弹的弹道并给出主动防护系统计算拦截点，以及对敌方发射器进行定位等。该系统能同时探测和跟踪多种不同的来袭目标。“速杀”拦截系统的“速杀”拦截弹采用冷发射方式，一个发射器装填 8~16 发拦截弹，能应对来自上半部分 360°方位的威胁。

“速杀”系统作用过程如下：一旦受到反坦克武器或其他武器的攻击，“眼镜蛇”雷达系统随即向车辆乘员及“速杀”发射装置发出警报。在计算出来袭目标的速度和飞行轨迹后，“眼镜蛇”雷达系统迅速确定拦截点，并引导“速杀”拦截系统发射导弹实施拦截。

(3) 综合杀伤主动防护系统

综合杀伤主动防护系统是同时具有软、硬两类杀伤手段的主动防护系统。典型的综合杀伤主动防护系统当属以色列的主动防护系统 ARPAM 和美国的“陆军综合主动防护系统”IAAPS。

1) 以色列 ARPAM 主动防护系统

以色列 ARPAM 主动防护系统由探测与报警装置、识别控制和反击装置组成。ARPAM 系统反击装置有三种,即全方位转动式多弹药发射系统(POMALS)、固定式多管烟幕弹发射器和 MK1 型“小提琴”干扰发射机。两具发射系统分别安装在炮塔两侧,每具都有 6 个以上的发射管,可发射烟幕弹、箔条弹、诱饵弹、高爆弹和反步兵榴弹等弹药。“小提琴”干扰发射机安装在炮塔顶部,用于干扰“陶”式或“霍特”等反坦克导弹,有效作用范围为炮塔前方 180° 区域内。

2) 美国“陆军综合主动防护系统”IAAPS

“陆军综合主动防护系统”IAAPS 主要安装在美国陆军“未来战斗系统”FCS 战车上,旨在保护有人驾驶车辆免受各种反坦克导弹和反坦克火箭弹等反坦克武器的威胁,并在减少 FCS 基础装甲、减轻车重的情况下,通过采用各种先进技术提高生存能力。系统由被动式传感器系统、计算机和攻击系统组成。攻击系统可以发射“软杀伤”弹药(干扰弹)和“硬杀伤”弹药(拦截弹)。

IAAPS 系统作用过程如下:被动式传感器系统发现来袭的目标后,将信号传给计算机,计算机对目标进行分类,进而选择是用“软杀伤”(干扰)方式、“硬杀伤”(拦截弹)方式还是同时采用以上两种方式打击目标。

四、装甲防护核武器的作用

核武器是一种大规模杀伤性武器,它包括裂变型的原子弹、热核反应的氢弹和主要对付坦克用的增强和辐射型的中子弹。

(一) 核武器的危害

核爆炸有五种杀伤破坏因素,即冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染和核电磁脉冲。五种杀伤破坏因素中主要的是冲击波和光辐射。

各种杀伤破坏作用占核爆炸能量的比例随武器的性质和爆炸的高度而稍有差异。对于一般原子弹空爆情况,其能量分配比例如图 10-0-13 所示。

1. 冲击波

核爆炸时间极短,释放出来的能量巨大,爆炸中心的温度达几百万甚至几千万度,最大压强也高达十几亿甚至数百亿大气压。此时原子弹已经汽化,高温、高压蒸汽迅速地向四周膨胀,强烈地压缩周围的空气层而形成冲击波。冲击波能量约占爆炸总能量的一半,它以超声速从爆炸中心向四周扩散,危害程度随着距离爆炸中心的增大而迅速减小。核爆冲击波随距离的衰减对人员造成不同等级伤害的半径及超压值如图 10-0-14 所示。

一般在冲击波动压为 0.1 个大气压、超压达 0.5 个大气压以上时,装甲车辆外部装备会遭到破坏。爆炸当量越大,作用时间越长,需要的动压值越小。在 1.2 万吨 TNT 当量的触地核爆炸时,距爆心 300 m 处的坦克,在 3.9 个大气压的动压下操作机构会遭到破坏。而在 1 800 m 高空的 250 万吨 TNT 当量核爆炸时,距爆心投影点 1~1.8 km 的坦克,在 2~2.7 个

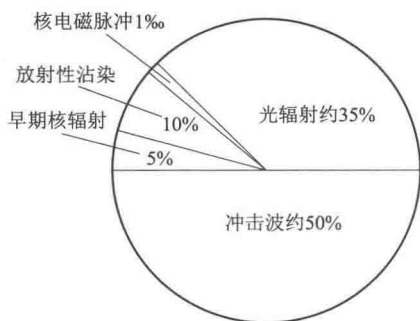


图 10-0-13 原子弹爆炸能量分配

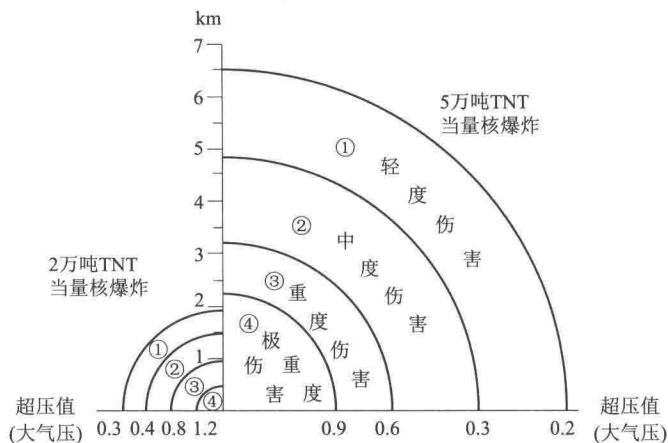


图 10-0-14 不同当量冲击波超压伤害等级范围

大气压的动压下操作机构就已经都遭到损坏。

冲击波对人员的冲击伤害分成四个等级：

一等为轻度冲击伤：器官一般损伤，体表擦伤，内脏斑点状出血等。

二等为中度冲击伤：器官严重损伤，内脏斑块状出血，单纯性肋骨骨折，脑震荡等。

三等为重度冲击伤：内脏破裂，骨折，较明显的肺出血，肺水肿等。

四等为极重度冲击伤：同时发生多处严重损伤，包括严重的颅脑、脊髓损伤，胸、腹腔破裂，内脏挤压伤，以致肢体离散等。

2. 光辐射

光辐射约占爆炸总能量的 35%。原子弹在空中爆炸后，在很短的时间内（约百分之几秒至十分之几秒）形成一个直径约 100 m 的大火球，其表面的温度比太阳表面的温度还高，从火球表面辐射出光和热，光辐射以光的速度向四周传播。大部分的光辐射在爆炸后 3 s 以内发射出去，约过了十几秒钟光景，由于火球温度降低，光辐射就基本不起作用了。

光辐射的杀伤破坏主要取决于光冲量的大小，其主要作用是着火燃烧，对人员的不同烧伤等级的参考距离如图 10-0-15 所示。

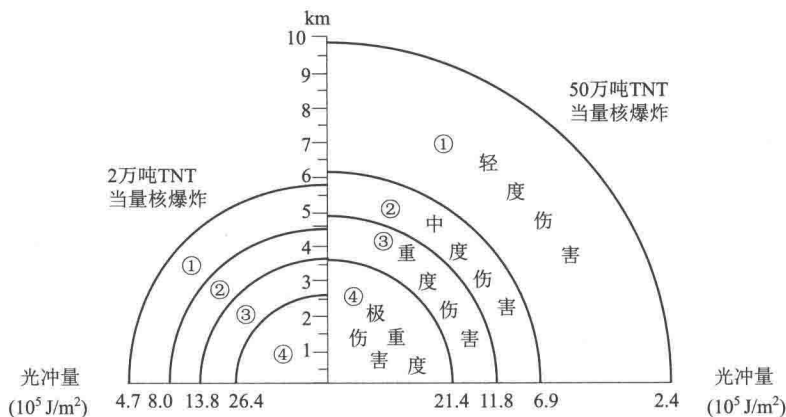


图 10-0-15 不同当量冲击波超压伤害等级范围

人眼最容易受光辐射伤害，即便是 1 万吨 TNT 当量的核爆炸，视网膜不受损伤的安全距离也大于 50 km，闪光盲安全距离则大于 100 km。

防光辐射的主要措施是披遮白色反光物。人的眼睛最怕光辐射，暴露在光辐射下的人首先应该闭眼，其他烧伤比较容易治疗。

3. 早期核辐射

早期核辐射指的是核爆炸后 1 min 内释放的核辐射，也称瞬时核辐射。早期核辐射占爆炸总能量的 5%。由于早期核辐射能量高、贯穿力强，故又称为贯穿辐射。在释放的许多种辐射中，只有中子和 γ 射线才具有重要的毁伤意义。中子辐射是在核爆炸发生的最初几微秒内由弹头裂变和聚变过程产生的中子。 γ 辐射主要来自裂变反应和裂变产物的衰变。空气对 γ 辐射有一定的遮蔽作用。1 min 以后火球远离地面，这时直接从火球发射出的 γ 辐射受空气的屏蔽对地面目标不会产生毁伤效应。

早期核辐射对建筑物不起破坏作用，但对人畜和电子系统有明显的杀伤作用，它可引起人畜感生放射性病，使电子系统致盲或失灵。

早期核辐射对人员的伤害程度，取决于受照射者的吸收剂量和受照射者的健康状况。吸收剂量的单位为 Gy^①，射线在 1 kg 物质中产生 1 J 电离能的剂量为 1 Gy。短期内受到照射超过 1 Gy 后才能发生急性放射病。人员吸收剂量范围和效果见表 10-0-1。

表 10-0-1 急性放射病等级及效果

等 级	吸收剂量/Gy	效 果
① 轻度	1~2	吸收 1 Gy，有 5% 发生急性放射病，24 h 内出现恶心呕吐
② 中度	2~4	吸收 2 Gy，有 50% 发生急性放射病，4 h 内出现恶心呕吐，不经治疗有 3% 以下人员死亡
③ 重度	4~6	吸收 4 Gy，2 h 内出现恶心呕吐，不经治疗，有大部分人发生死亡
④ 极重度	>6	立即出现恶心呕吐，不及时治疗，几乎全部死亡

不同当量核爆炸瞬时照射发生急性放射病的范围不同（图 10-0-16）。

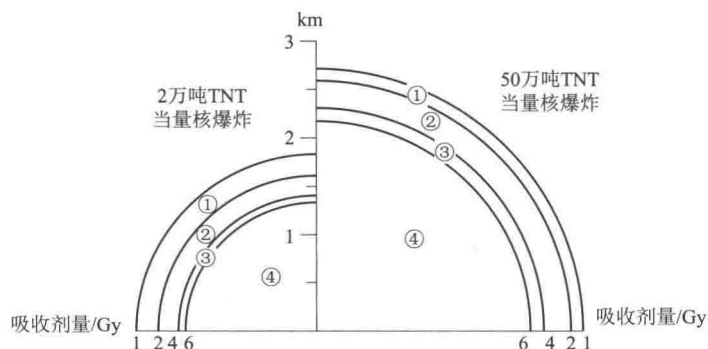


图 10-0-16 核爆炸瞬时照射急性放射病剂量范围

① 1 Gy=1 J/kg。

对核爆瞬时辐射进行防护，主要是采取“挡”的办法。屏蔽 γ 辐射主要是加大屏蔽物的质量，屏蔽中子主要考虑低原子序数的物质和捕获中子能力很强的物质，如镉和硼。防中子辐射只需要半米厚的混凝土，而5 cm厚的钢铁可使中子剂量降低一半。防 γ 辐射最好是铅砖，最方便是土层，10 cm的土层可使 γ 辐射剂量减半。在三层楼房的地下室里，中子、 γ 辐射都是安全的。

4. 放射性沾染

放射性沾染主要来自降下来的裂变碎片，其次是早期核辐射的中子、 γ 射线射入地表物质里感生的放射性粒子，其能量约占核爆总能量的10%。放射性沾染可以造成地面、物体和有污染尘埃空气的污染，而且会在长时间内起作用。这类污染通常每7 h衰减9/10。经试验测定，坦克内污染为车外污染程度的1/3。

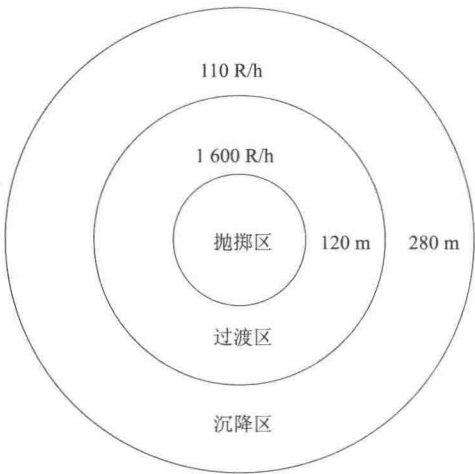


图 10-0-17 放射性沾染照射量强度分布

例增加到95%，早期核辐射的比例不变。它的四种杀伤破坏因素均在爆后几秒至几十秒内起作用，所以这四种因素称为瞬时杀伤破坏因素。

(二) 装甲防护核武器的作用

坦克装甲车辆的车体炮塔装甲本体对核武器攻击具有一定的防护作用。

装甲防护核武器的能力有两个评价参数：

一个称为防护系数 K ，以车外剂量与车内剂量的比值来表示，即 $K = \text{车外剂量} / \text{车内剂量}$ 。 K 值越大，表明车内成员受贯穿辐射的程度越小，成员越安全。一般情况下，主战坦克 $K = 20 \sim 40$ ，装甲车辆 $K = 2.0 \sim 3.5$ ，在车辆的非主要部位， K 值较小。表10-0-2所示为一些装甲 K 值数据。

表 10-0-2 装甲的防护系数

装甲厚度/mm	50 (均质)	80 (均质)	100 (均质)	200 (复合)	300 (复合)
防护系数 K	1.94	2.16	2.2~2.5	10~15	30~50

① $1\text{ R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg}$ 。

另一个评价参数是穿透系数： $\varepsilon=1/K$ 。该值越小，表明车辆的防护能力越强。表 10-0-3 中列出了一些坦克装甲车辆的穿透系数。

表 10-0-3 装甲的穿透系数

车辆型号	M60A1	M60A2	T-55	Nt-76	M113A1	GTn-50	T-62
γ 射线	0.1	0.05	0.07	0.4	0.5	0.4	0.1
中子射线	0.5	0.3	0.5	0.9	0.8	0.9	0.6
剩余核辐射	0.04	0.03	0.04	0.04	0.8	0.4	0.04

第十一章

车体、炮塔与炮塔座圈

坦克的防护装甲主要是由炮塔座圈连接起来的车体和炮塔两部分组成。我国某主战坦克在炮塔前两侧、车首上装甲板装焊有复合装甲，在车体侧面安装有侧屏蔽裙板，极大地提高了坦克正面和侧面的防护能力。

一、车体

我国某型主战坦克车体主要由装甲车体、驾驶窗、安全门、散热窗及其操纵装置、驾驶椅等组成（图 11-0-1）。在车体的正面装焊有复合装甲，侧面安装有屏蔽裙板。

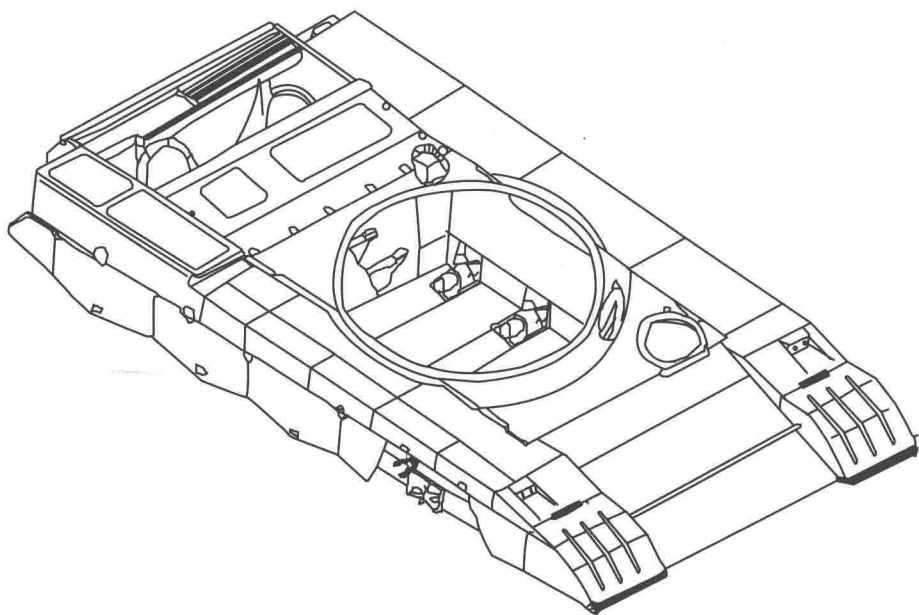


图 11-0-1 车体

（一）装甲车体

车体由特种装甲材料焊接而成，是坦克装甲车辆各系统的安装基础，其作用是：

- ① 充当安装机件，包括武器、电信、推进系统及一些附件；
- ② 承受冲击负荷，包括火炮发射的后坐力、越野时和车体撞击障碍物时产生的冲击负荷等；

③ 进行防护，防御各种反坦克弹药，保护车内设备及人员；

④ 与各种密封装置相配合，使坦克具有通过水障碍和原子、化学、生物沾染区的能力。

装甲车体由车首、尾部、侧部、底部、顶部和隔板组成，构成驾驶室、战斗室和动力室。

1. 车首装甲

车首装甲由首上、首下装甲板及复合装甲组成，其侧面与诱导轮支架、左侧甲板、右侧甲板拼焊，上方与炮塔底装甲板焊接。车首倾斜角为 62° ，并且首上甲板上焊接有复合装甲，其防护水平可达防破甲 600 mm、穿甲 380 mm，防弹能力和抗冲击的能力都较好。首上装甲板上安装有驾驶员潜望镜座，在复合装甲面板上固定有照明车灯及防浪板等。

2. 车体侧部装甲

车体侧部由左、右侧装甲板及护板、翼子板和屏蔽裙板组成。

在车体的两侧装甲板上均焊有一个诱导轮支架、一个侧减速器齿轮箱、三个缓冲器支架。

钢板冲压成的翼子板焊接在侧装甲板上部外侧（图 11-0-2），盖住上支履带，可搭载步兵和安放油箱、各品箱等。翼子板前后挡泥板均安装有 8 mm 厚夹布胶皮，可防止砂石、泥水向车辆飞溅。

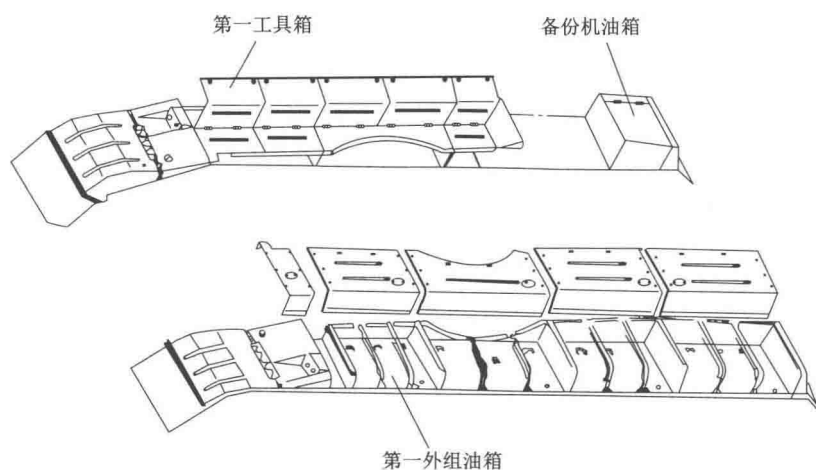


图 11-0-2 车体侧部装甲

在左侧翼子板上，从前向后依次安装用于冲洗驾驶员潜望镜的水箱，第一、二、三、四外组柴油箱，以及加油泵箱。

在右侧翼子板上，从前向后依次安装第一、二、三、四、五工具箱，空气滤室及备用机油箱空气滤室（图 11-0-3）。

3. 尾部装甲

车体尾部装甲由尾上、中、下装甲板和支撑板（支撑散热窗顶盖）及侧传动箱体组成。尾上装甲板上有风扇折动装甲板合页、支撑板、支板总成、小机油箱加油口盖、散热窗锁把等部件；尾中甲板里面安装有排气窗、风扇隔板，外面焊接备用油筒固定板、备用履带限制器、圆木固定架、防滑箱固定附座、牵引钢丝绳固定附座、牵引钩附座及风扇检查孔盖等部

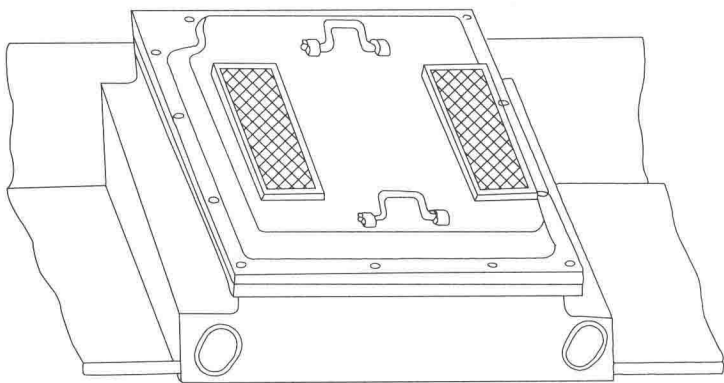


图 11-0-3 空气滤室

件；尾下装甲板里面有变速箱支架，外面安装行星转向机下检查窗口盖、变速箱检查窗口盖、机油放油口盖等附件。

4. 车体顶部

车体顶部装甲由炮塔底装甲板、发动机顶盖、车体横梁、进排气窗、风扇折动装甲板组成。

炮塔底装甲板由四块装甲板拼接而成，其上加工炮塔座圈安装槽、孔，左前方安装驾驶员窗口盖，右前方安装前组柴油箱加油口盖。发动机顶盖（图 11-0-4）以螺钉固定于车体横梁及左、右侧甲板上，其上有两块发动机检查窗盖。

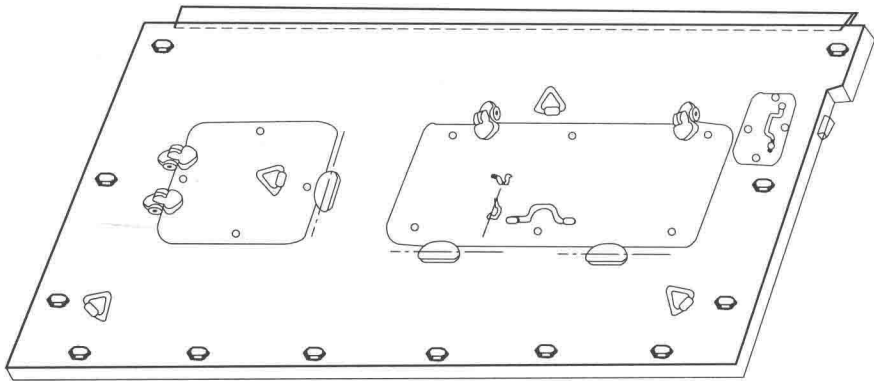


图 11-0-4 发动机顶盖

5. 底部装甲

车体底部由底前一、二装甲板，底后一、二装甲板共四块装甲板组成。在各块底板上有便于安装扭力轴的冲压槽。车底板断面呈 U 形，便于增加车体的刚度。

底部装甲板两侧各焊六个平衡肘支架、三个摩擦减振器座，在底部装甲板上由前向后依次焊接各零部件，如驾驶椅、蓄电池、前组油箱、自动装填机构旋转底盘、旋转电路连接器、发动机基座、传动箱支架等，另外，还有安全门及盖，发动机和主离合器检查窗及盖，前组柴油箱，齿轮传动箱，变速箱，操纵部分的放油、水口及螺塞。

6. 车内隔板

车内有发动机隔板和主风扇隔板两块。

发动机隔板（图 11-0-5）安装于车体横梁下面，在动力室一侧装有 20 mm 厚的隔热层，用于防止动力室热、噪声对战斗室造成影响。隔板上开有检查、维修、保养发动机的三个检查窗和通风风扇孔。

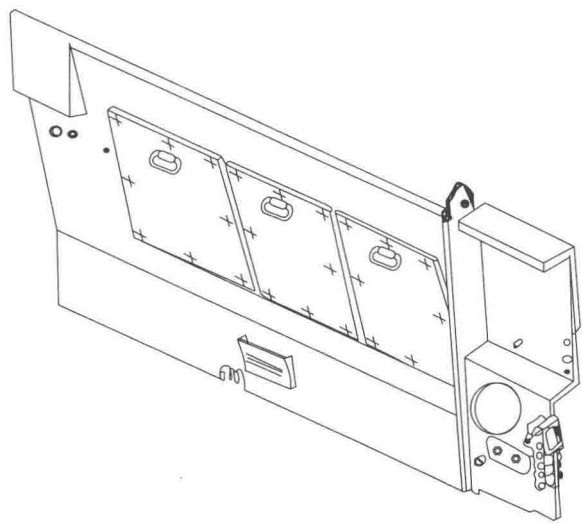


图 11-0-5 发动机隔板

主风扇隔板在排气窗下方（图 11-0-6），用排气窗螺栓固定。风扇前隔板焊有安装风扇的法兰盘，后隔板开口与尾中甲板风扇检查口相近，便于检查、维修。

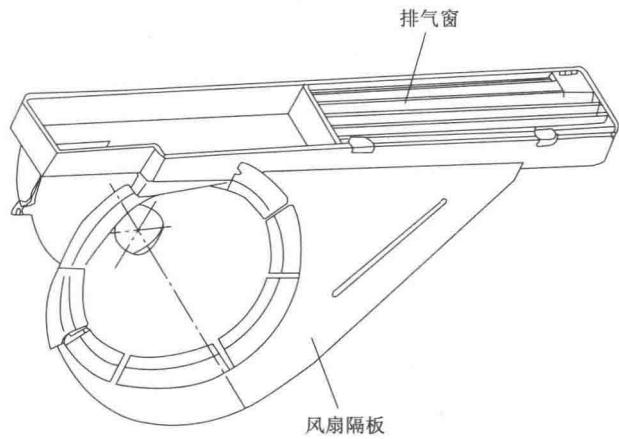


图 11-0-6 主风扇隔板

7. 屏蔽裙板

屏蔽裙板安装在翼子板和前挡泥板外侧，用于加强车体的防护。中间五块屏蔽裙板上有供乘员等车用的矩形孔。裙板安装方式如图 11-0-7 所示。

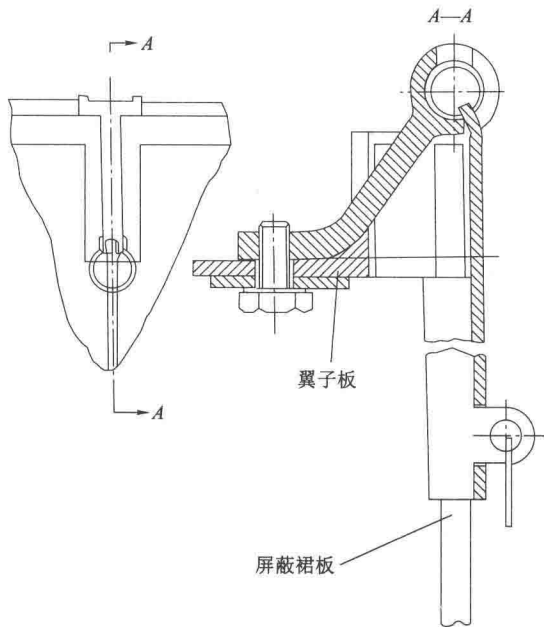


图 11-0-7 屏蔽裙板

(二) 安全门

安全门位于驾驶员座后方的车体底部上（图 11-0-8），由密封胶圈、门盖、门圈、手柄、固定器等组成。安全门盖一端用合页固定在车底板外表面，另一端通过左销、右销固定在门圈上。使用时，乘员向上拉动手柄并旋转，安全门即可向车外方向打开。

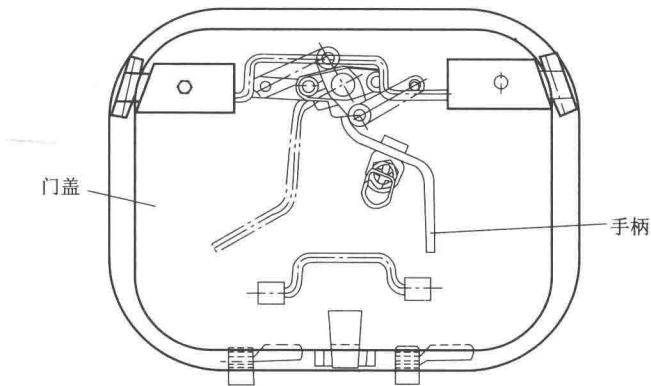


图 11-0-8 安全门

(三) 驾驶窗

驾驶窗供驾驶员出入坦克。为扩大视野，驾驶员驾驶时可开窗。驾驶窗可在车内和车外打开，在天冷或风沙过大时，还可加防护罩。驾驶窗（图 11-0-9）由窗口、窗口盖及操纵机构三部分组成。

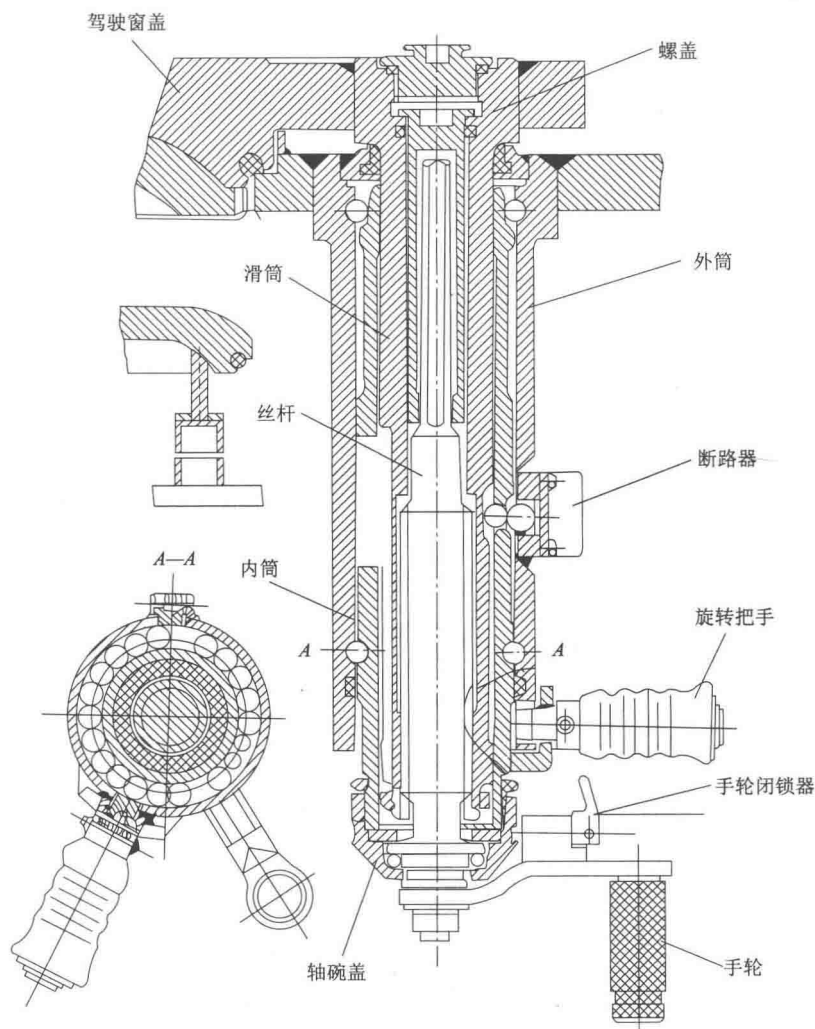


图 11-0-9 驾驶窗

窗口通过螺栓与炮塔底甲板连接，用于保护乘员头部免遭撞伤，窗口周围安装有密封胶圈。

窗口盖用螺栓与升降筒相连并可随升降筒上下、左右旋转完成开、关驾驶窗功能。窗口盖前上部用铰链固定通风口盖，可在弹簧的作用下自动打开。窗口盖左后上部另有一个可用专用钥匙从外部开闭窗口盖的外盖总成。窗口盖内表面装有橡胶衬垫，用于缓冲对驾驶员头部的碰击。

操纵机构由外筒、内筒、升降筒、滑筒、手轮组成。

外筒焊接在炮塔底甲板上，是其他零部件装配的支撑体和运动的导轨。外筒上有滑筒插销孔及炮塔限位开关安装孔，用于在两端头加工滚珠槽。

内筒装在外筒内，其外侧上端中间部位的滚珠槽内安装滚珠后，可相对于外筒进行旋转运动。内筒中间装有平键，可带动升降筒、窗口盖随内筒旋转，对升降筒的升、降运动起导向作用。内筒中间开口安装开关滚珠，用来使炮塔限位开关切断炮塔旋转电路，避免对驾驶

员的伤害。内部下端攻有螺纹，用于安装手轮总成，其与内筒以弹簧销锁紧。

升降筒与窗口盖通过螺钉焊接，用于带动窗口盖升降、旋转，实现开、关窗。升降筒下端内制梯形螺纹，可随丝杆旋转而上下运动；外制平键槽，可经平槽与内筒结合；中间部位加工有使开关滚珠运动的梯形槽。

丝杆手外型从下向上依次为：螺纹部分，用花螺帽紧固手把把手；下四角方，用于安装手轮把手；梯形螺纹，与升降筒内梯形螺纹相咬合；上四角方，用于与滑筒相连。

（四）驾驶椅

驾驶椅由靠背、坐垫、座架及滑槽、齿盘、齿杆、固定卡靠背架、前后平行杆及轴、踏板、扭簧等组成（图 11-0-10）。驾驶椅有上、下两个位置，开窗驾驶时，则应调到上部位置；关窗驾驶时，应调到下部位置。

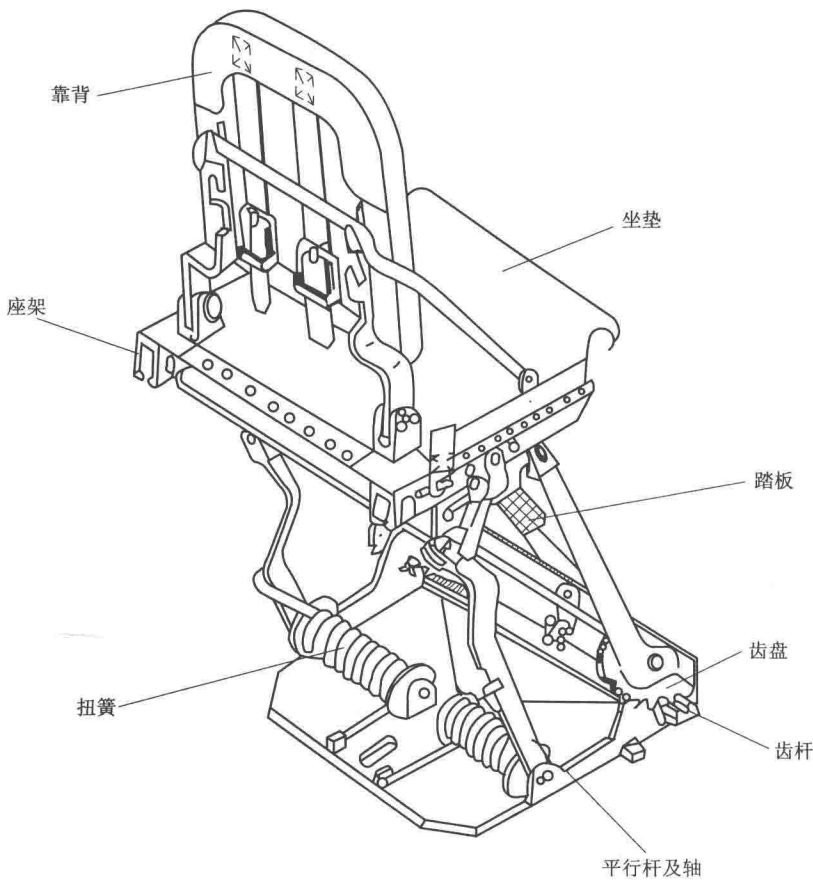


图 11-0-10 驾驶椅

驾驶椅用螺栓固定在车底甲板上，其前后位置、靠背的倾斜程度可以适当调整。

（五）散热窗及其操纵装置

散热窗及其操纵机构的作用是：

- ① 改变百叶窗开度的大小，调节动力室的温度；
- ② 防止弹片损坏部件；

③ 打开散热窗后，可以进行检查、维修。

结构上，散热窗及其操纵装置由进排气窗、操纵机构、拉杆、折动甲板及其支撑板等部件组成（图 11-0-11）。

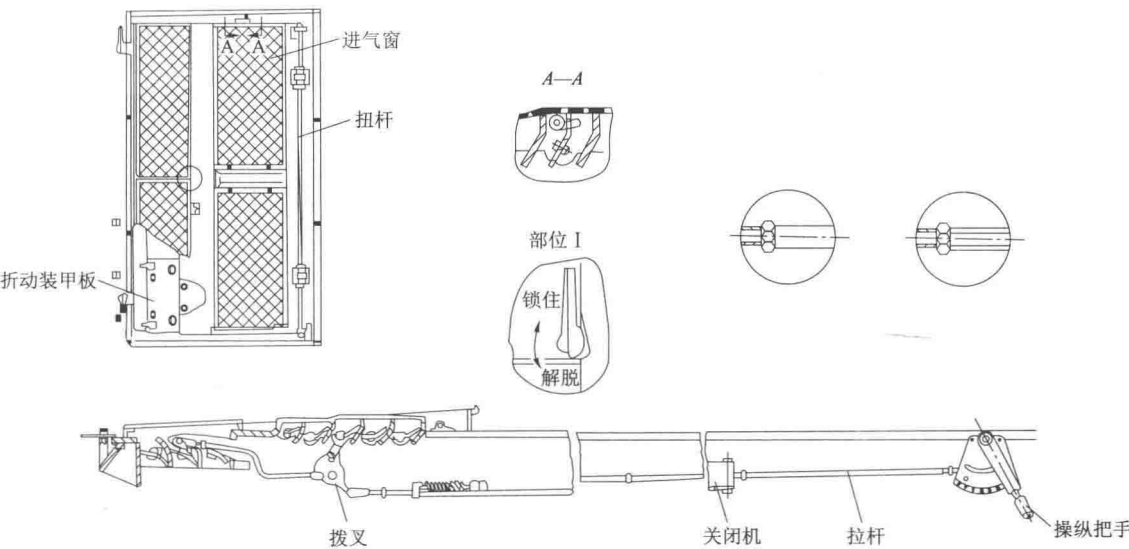


图 11-0-11 散热窗及操纵机构

进气窗与发动机顶盖铰链相连，并装有助力弹簧扭杆。进气窗打开时，可用止动器固定。进气窗上装有进排气百叶窗及加水口盖，百叶窗上面焊接铁丝网。排气窗下端与风扇壳体及隔板焊接，上端用进气窗压紧。

各活动板用传动板连接，而操纵把手通过拉杆、拉臂与各中间活动板连接，用于控制活动板的开闭。为保证窗板轴转动的灵活性，在左、右侧板的轴孔内装有关节轴承。两块风扇折动装甲板安装于车尾右上部，保护风扇免受子弹破坏。

进、排气窗的操纵装置安装在左侧甲板的内表面，由操纵把手、拉杆、关闭机、窗板操纵拨叉等件组成。操纵把手安装在驾驶室驾驶员左侧，其上固定有 7 个定位孔，供驾驶员调整进、排气百叶窗板的开启角度。

二、炮塔

炮塔位于坦克车体中部，由座圈与车体螺栓连接，能相对车体自由转动。

炮塔有两个主要作用：一是抵御反坦克弹药的攻击防护，二是用来安装火炮、机枪、火控系统、电台及其他部件。

坦克产生至今，共出现过多面体焊接炮塔、半卧形炮塔、圆锥形炮塔三种形式的炮塔。半卧形炮塔采用铸造成型，其特点为流线型好、防弹能力强。但随着反坦克武器的发展，半卧形炮塔的防护能力已不能满足需要，因而逐步被焊接式炮塔所取代。目前主流的炮塔形式是多面体焊接炮塔，炮塔外可灵活采用焊接、安装、加挂等各种类型装甲来增强炮塔的防护能力。同时，为防御反坦克导弹、子母弹的顶部攻击，炮塔顶部装甲有大大加厚的趋势。圆锥形炮塔应用于轻型装甲车辆上，由多块钢板焊成，炮塔内有吊篮，火炮上方还装有一具反坦克导弹发射架。

我国某型号坦克的炮塔（图 11-0-12）由炮塔体、指挥塔、炮长门、抛壳窗口盖、复合装甲及屏蔽栅栏等部件组成。

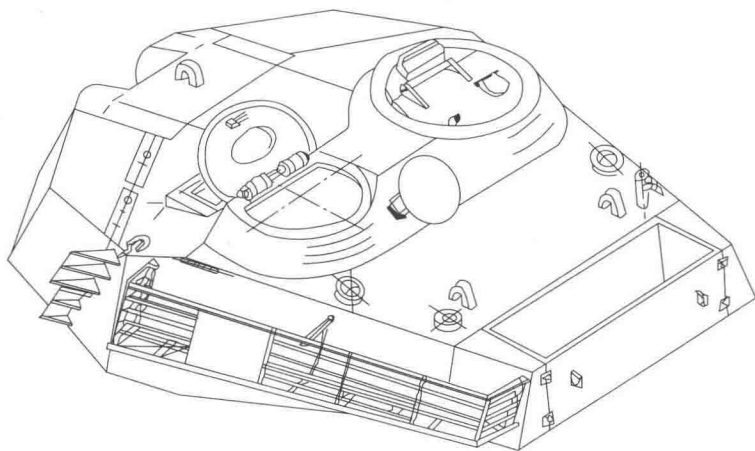


图 11-0-12 炮塔

（一）炮塔体

炮塔体由炮塔头部、塔体装甲板、顶部装甲板、底部装甲板、尾仓部分组焊而成。炮塔体主要起防护、支撑和安放各种设备的作用，并围出乘员活动空间和安装各种仪器设备、弹药备品等。在该炮塔体前部左、右两侧安装有复合装甲，两侧安装屏蔽栅栏，在顶部安装指挥塔、炮长门、抛壳窗口盖等部件。炮塔两侧焊有 12 个抛射式烟幕发射支架。炮塔体内部有固定安装各机件、弹药和备品的支架和附座。

炮塔头部是一个整体的特种钢铸件，其上加工有炮耳轴孔，可安装高低机支臂，其右侧加工有并列机枪口。炮塔头部炮口两侧的装甲较厚，用于加强坦克的正面防护力。火炮射击时的后坐力通过炮塔头部的火炮安装耳轴孔，经座圈向车体传递。

顶部装甲形成了炮塔的顶部防护，其上还有车长门、炮长门、抛壳窗口及炮长瞄准镜安装座。

炮塔底板由轧制特种装甲钢板组焊在炮塔底部，形成一个大直径圆孔，其上加工有座圈安装槽及螺纹孔。底板在炮塔头部左右延伸出一部分，用来安装复合装甲。

尾仓是塔体的后半部分，其作用是平衡炮塔重心，并增加炮塔内部空间；尾箱是焊接在炮塔上的安装三防装置的箱体，其上方铰链连接尾仓盖，可从外部打开。

（二）指挥塔

指挥塔位于炮塔顶部的右侧，供车长出入坦克、观察战场情况、指挥战斗和操作高射机枪使用。

指挥塔（图 11-0-13）由上下座圈、塔顶和门盖三部分组成，经底座用螺栓固定在炮塔顶装甲板上。

塔顶中部有车长指挥仪安装孔，塔顶和门盖上各有两个七一式观察镜的安装孔。

塔顶下部有内座圈，内座圈通过钢球支承在底座上，可在水平方向相对底座转动 360° ，其上有安装高射机枪的座。在内座圈上装有固定销，解脱固定销，即可手动灵活地转动塔顶

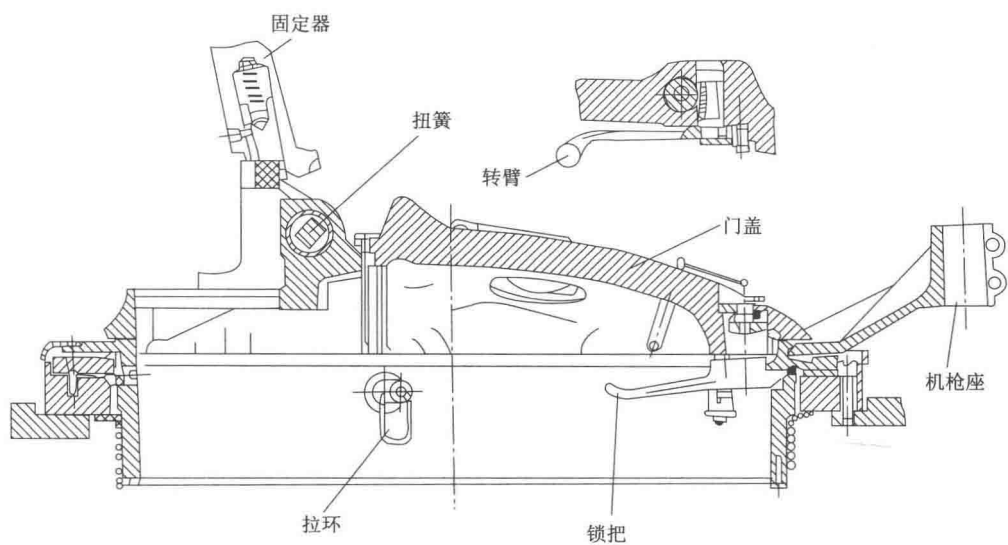


图 11-0-13 指挥塔

和门盖。在内座圈的下部，还装有带护板和四个滑环，它是车长目标指示装置电路的一部分。

门盖通过铰链与塔顶相连接，铰链处有叠片扭杆，用来平衡门盖的重量，使开、关门盖轻便。

在门盖上有信号枪发射孔，孔盖的结构与驾驶窗盖上的通风口盖相同。

(三) 炮长门

炮长门位于炮塔顶部的左边，与炮塔通过铰链相连，其作用是供炮长出入坦克和观察周围环境。

炮长门由门盖、门锁、固定器体、片束弹簧、潜望镜座、潜渡窗组成(图 11-0-14)。

门盖与炮塔体通过铰链连接，铰链轴内安装有片束弹簧。打开门盖时，门盖在片束扭杆弹簧的作用下，使固定器体与支架可靠固定。门盖右侧焊有潜望镜安装孔，潜渡盖可从车内打开，潜渡时用于安装通气筒。

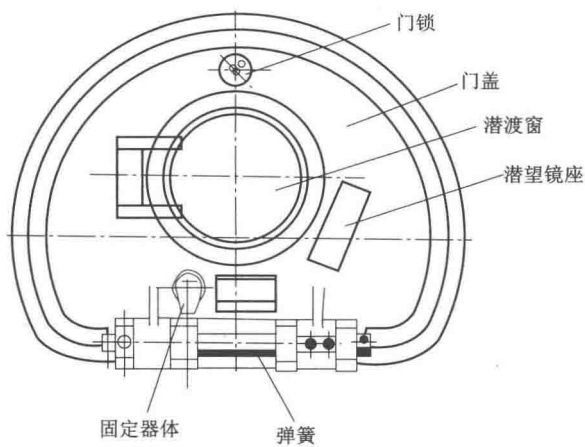


图 11-0-14 炮长门

(四) 炮塔复合装甲

坦克左、右两块炮塔复合装甲采用非金属夹层、百叶窗结构(图 11-0-15)，以螺栓、压板形式固定于炮塔体左、右两侧。复合装甲上面焊有三个吊环，遭受弹丸或射流破坏时，可方便拆换。

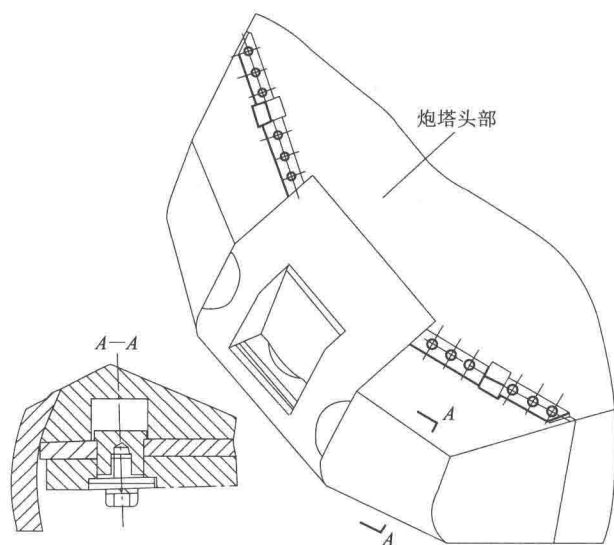


图 11-0-15 炮塔复合装甲

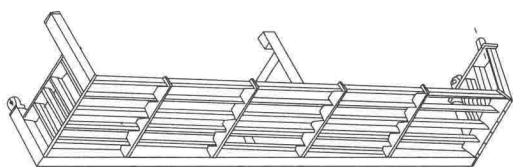


图 11-0-16 屏蔽栅栏

(五) 屏蔽栅栏

屏蔽栅栏（图 10-0-16）安装于炮塔两侧，用刀样的钢板条焊接而成，有防护破甲弹的作用。屏蔽栅栏内可安装机枪弹药、备用箱及存放篷布，并可为战士搭乘坦克提供方便。

三、炮塔座圈

炮塔座圈安装在炮塔与车体之间，用来连接炮塔和车体，使炮塔在水平方向上相对于车体灵活转动，并承受火炮射击及车辆行驶时的冲击。

炮塔座圈（图 10-0-17）由上座圈、下座圈、钢球、隔簧、密封圈、螺塞和护板等组成。

座圈的滚道内间隔安装有 170 颗钢球和 170 个弹簧，滚道内注入低温润滑脂。

在下座圈上制有内齿，内齿与方向机拨动齿轮相啮合。

四、炮塔固定器

炮塔固定器用来将炮塔和火炮固定在相对于车体的任何位置上。炮塔固定器由止动器体焊接件、止动齿、螺杆、棘轮、闭锁杆、手柄等组成（图 11-0-18）。

止动器体焊接件上四通孔用于与炮塔底裙板螺钉连接，两个销孔用于与上座圈销连接。

止动齿与下座圈齿咬合和分离，实现止动、松开功能，其上部螺纹与螺杆配合。

螺杆一端与止动齿螺纹连接，另一端与棘轮销钉连接。棘轮在闭锁杆的作用下带动螺杆正、反方向旋转。

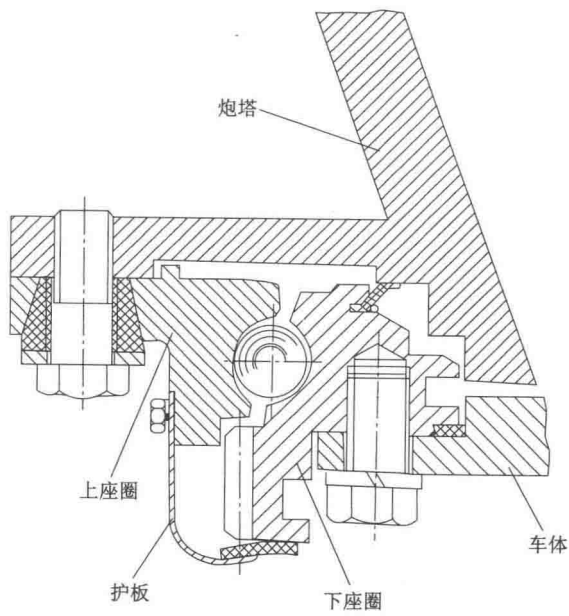


图 11-0-17 炮塔座圈

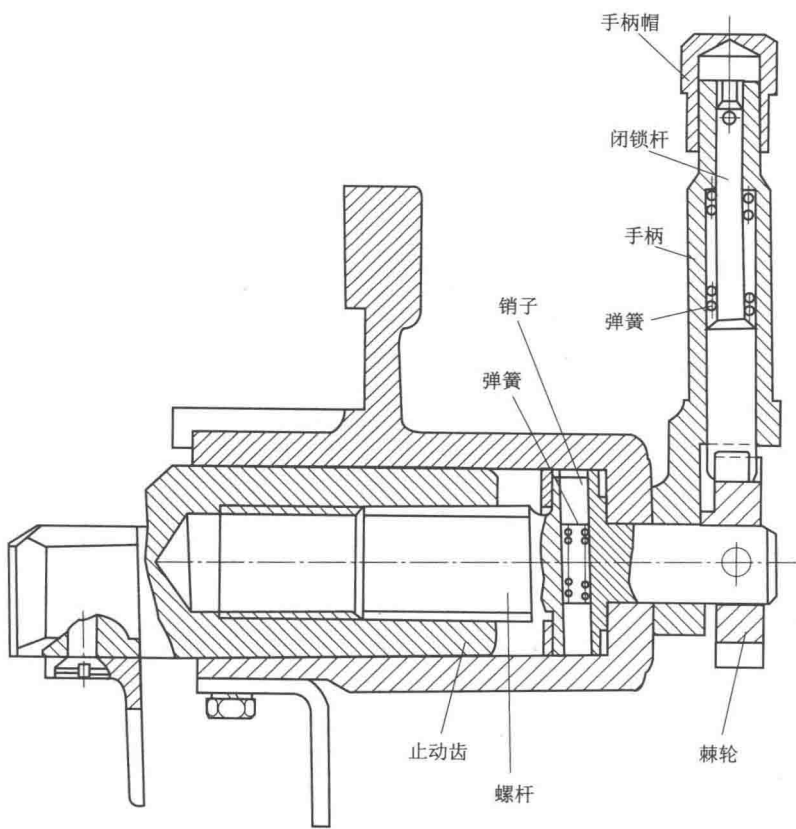


图 11-0-18 炮塔固定器

第十二章

其他防护装置和方法

一、灭火抑爆装置

灭火及抑爆装置是现代坦克装甲车辆的必备装备，用于熄灭坦克内发生的火灾和抑制油雾爆燃，以增强坦克在战场上的生存力。

国产某主战坦克装备的灭火抑爆装置由位于战斗室的 85 式自动灭火抑爆装置和位于车体内的 80 式自动灭火装置两个部分组成，该装置具有自动抑爆、防止二次杀伤以及自动扑灭火灾的防护能力。

（一）战斗室灭火抑爆装置

战斗室灭火抑爆装置在战斗室内的布置如图 12-0-1 所示，它由探测系统、灭火剂喷射系统、逻辑控制系统组成。

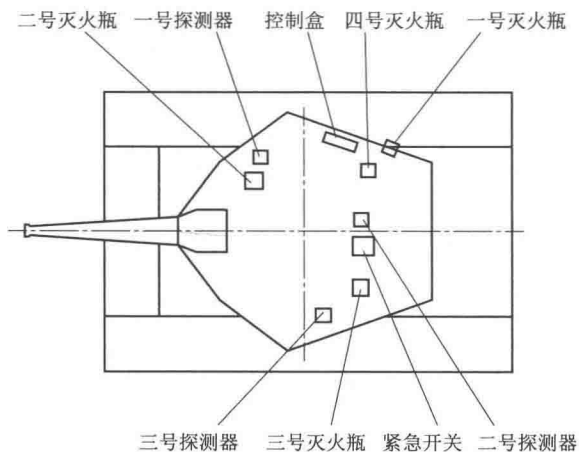


图 12-0-1 85 式自动灭火抑爆装置在战斗室内的布置

探测系统由三个光学探测器组成，吊装在炮塔顶甲板上，能够监视整个战斗室空间火情。一号探测器在车长右前方，二号探测器在车长和炮长中间，三号探测器在炮长左前方。灭火剂喷射系统由四个 1301 灭火瓶组成，其一号灭火瓶装车在车体右侧甲板支架上，二号灭火瓶装车在炮塔右前方支架上，三号灭火瓶装车在炮长座大支臂上，四号灭火瓶装车在炮塔右后方支架上。一号、三号灭火瓶和二号、四号灭火瓶各组成一组，安放位置一高一低，均能快速抑制战斗室发生的油雾爆燃。逻辑控制系统包括一个

控制盒、一个紧急开关和连接电缆。为便于炮长和车长操作，紧急开关靠紧二号探测器安装；为便于车长操作，控制盒装在车长右后方。

1. 光学探测器

探测器的作用是及时、准确地探测出可能发生的火警。

探测器主要由壳体部分、电路板组件及盖板组成（图 12-0-2）。电路板组件上除装有电阻、电容和集成电路等电子元器件外，还装有两个光敏元件和一个红色发光二极管。红外

光敏电阻工作在红外区，紫色光敏管工作在紫外区。只有两个光敏元件都接收到信号时，探测器才能向控制盒输出信号。

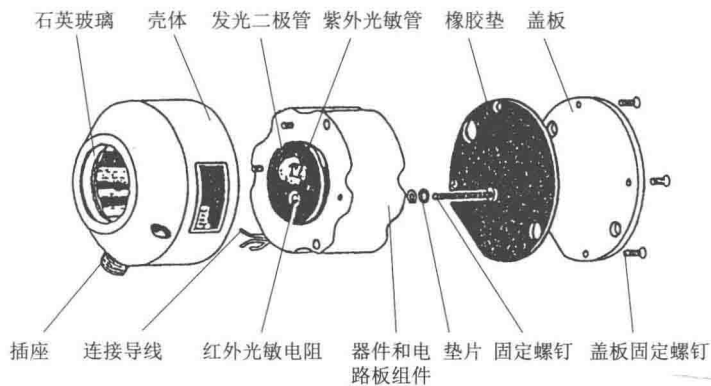


图 12-0-2 光学探测器

探测器的工作原理如图 12-0-3 所示，一旦发生火灾，紫外光敏管和红外光敏电阻接收到两种光信号后，将其转换成电信号，并进行放大、校准、调节，然后通过“与门”电路。当两种信号同时存在时，探测量便确认有火警发生，于是将信号送到控制盒。

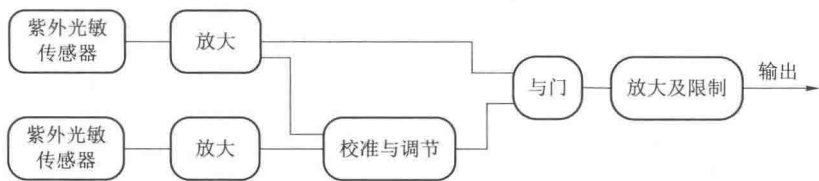


图 12-0-3 探测器工作原理图

2. 控制盒

控制盒是灭火抑爆装置的主控部件，主要作用是在合适时机，发出灭火抑爆指令、自动转换灭火瓶、自动启动增压风机和对系统及指示灯自检。

控制盒的工作程序如图 12-0-4 所示。

A：正常，探测器输入的火警信号经控制盒中只读存储器 I，指令灭火瓶、风扇的控制电路进行相应动作。

B：第一次指令的灭火瓶不能正常喷灭火剂时，由只读存储器 II 再发出灭火瓶喷射的动作指令。

C：灭火系统正常接通电源时，按下紧急开关，手动灭火信号经只读存储器 I，按“平时”工作方式的逻辑指令进行灭火。

D：灭火系统供电被切断时，在 2 h 之内按下紧急开关，手动灭火信号仍能直接指令第 4 号灭火瓶进行灭火。

3. 1301 灭火瓶

1301 灭火瓶是一种高效灭火瓶，瓶内装有 2.7 kg 1301 灭火剂（三氟溴甲烷），并填充 4.12 MPa 的氮气，能使灭火剂迅速地散布到防护区。

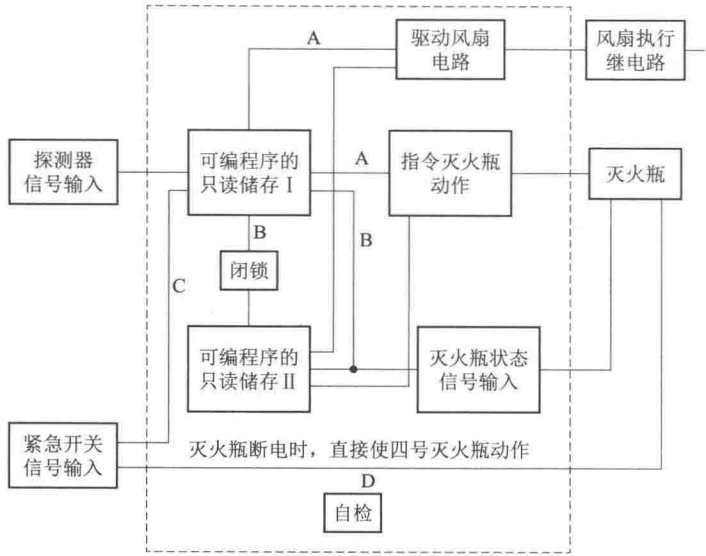


图 12-0-4 控制盒工作程序方框图

灭火瓶主要由卡箍、瓶体、灭火剂、导流盘、反后坐装置、短路帽、护罩等组成（图 12-0-5）。

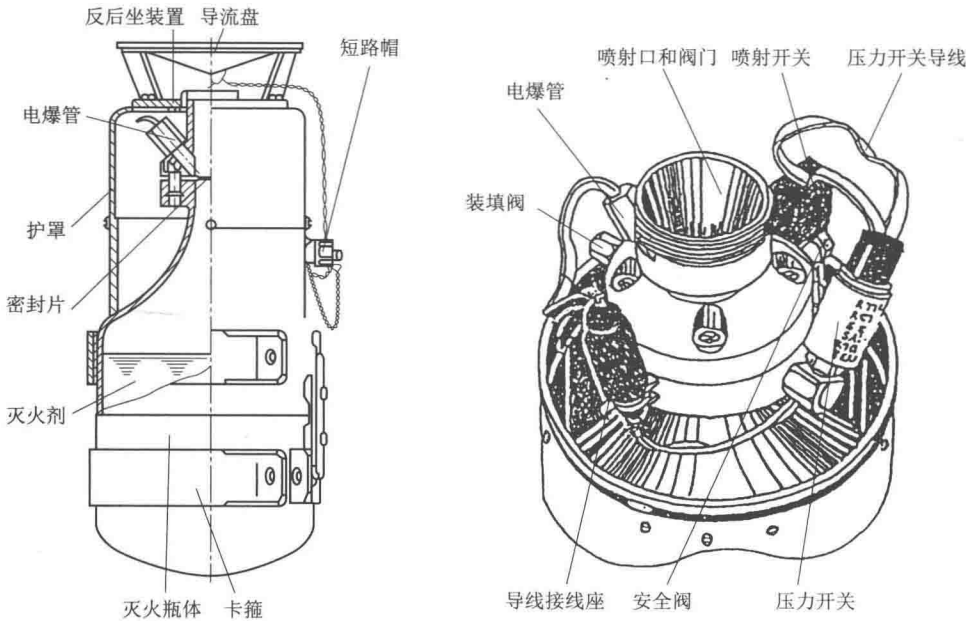


图 12-0-5 灭火瓶

当灭火瓶接到控制盒输出的较强电流（3~4 A）时，电爆管被引爆，进而击穿安全膜，使得瓶内的灭火剂迅速喷出并立即汽化。当空间里 1301 的浓度占 3% 以上时，火被立即扑灭；当浓度为 5.9% 以上时，即能抑爆。

4. 紧急开关

紧急开关是一个手控开关盒,用于紧急情况下的手动灭火。

当按下按钮后,如果控制盒处于“平时”工作状态,而且电源系统工作正常,则灭火的工作程度是由控制盒指令相应灭火瓶动作进行灭火。

如果坦克电压不足或电源线断开 2 h 内,按下紧急开关仍能操纵第四号灭火瓶喷射灭火剂进行灭火。

5. 工作原理

当三防装置中的 JKH 型继电控制盒收到灭火控制盒输出的灭火信号时,控制系统首先切断增压风机和指示灯电路。在火警信号消失后,它又能使增压风机自动启动。

系统从探测火警到喷射灭火剂仅需 60 ms,因此,战斗室抑爆控制盒只在灭火抑爆后延时 5 s 才输出启动增压风机的信号。继电控制盒收到这个信号后,才会自动控制增压风机运转排烟、通风。

(二) 动力室自动灭火装置

80 式自动灭火装置由 LEH1 型火焰感受器、LKM1 型自动灭火控制盒、报警喇叭、战斗室备用灭火按钮、JKH 型继电控制盒、发动机熄火装置、MLG21A 型灭火瓶、灭火剂导管、连接电缆等组成。

火焰感受器布置在车内极易起火的部位,共 8 个。动力室有 4 个火焰感受器,其中动力舱前方左、右各有 1 个,动力舱后方左、右各有 1 个;在战斗室有 4 个火焰感受器,其中在前油箱处有 1 个,输弹机护板上有 1 个,中组弹架油箱左侧有 1 个,右侧甲板后方有 1 个。灭火控制盒安装在驾驶员左前方的左侧甲板上,便于驾驶员观察和操作。三个灭火瓶用卡箍带固定在动力舱右侧甲板后方。灭火瓶中的灭火剂通过导管被分别送到动力舱和战斗室,再由喷嘴喷向空间。报警喇叭安装在驾驶室首上甲板上。为方便车长操纵,JKH 型控制盒安装在炮塔右后方,用于分别控制增压风机、隔板通风活门、百叶窗关闭机。

1. LEH1 型火焰感受器

火焰感受器为由 16 对康铜-镍铬合金丝串联构成的热电偶堆,一端固封在具有一定热惯性的环氧树脂中作为自然冷端,另一端的 16 对热电偶头伸在空气中作为热敏感端。

当热敏感端受到火焰灼烧时,温度迅速升高,而环氧树脂中的另一端维持原来的温度状态,这个温度差即产生了温差电势。此电压通过导线输送到灭火控制盒,作为火警信号。

2. LKM1 型自动灭火控制盒

自动灭火控制盒由壳体和机芯两部分组成,壳体上有两个固定支耳,支耳孔内装有橡胶减震垫和一接地导电片;机芯部分由面板、后板、骨架和电路板组成,面板上装有指示灯、开关和按钮。

灭火控制盒接受火焰感受器输出的火警电信号后,自动将其转换为灯光指示信号和音响信号,并指令发动机熄火装置使发动机熄火,指令增压风机停止运转,同时输出启动灭火瓶喷药的电信号。当火警信号消失后,控制盒也能转换成各种相应的安全信号,并自动启动增压风机以排除车内烟雾。

3. JKH 型控制盒

JKH 型继电控制盒安装在车长门正后方。当有火警信号时,该控制盒接收自动灭火控制盒电信号并发出指令使增压风机停止运转;当火灾扑灭后,发出指令使增压风机排除车内烟

雾。另外，它能接受核化报警信号，以控制各执行机构动作，从而建立集体防护。

4. 发动机熄火装置

发生火灾时，发动机熄火装置接受灭火控制盒发出的指令，使发动机熄火，并使冷却风扇停止运转，从而提高动力室灭火效能。结构上发动机熄火装置由传动轴、壳体、电爆管、拉环等组成（图 12-0-6）。

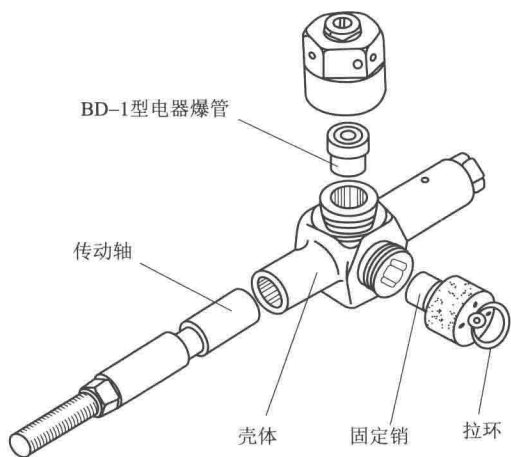


图 12-0-6 发动机熄火装置

油门拉杆的一段与熄火装置的传动轴相连，另一段与熄火装置的壳体相连。传动轴通过固定销和壳体连接。当发生火灾时，火警电信号引爆熄火装置的电爆管，使固定销从传动轴的凹槽中脱出，并使传动轴与壳体连接脱开，切断油门踏板与发动机之间的连接关系，使发动机自动停止供油而熄火。

驾驶员用手拉熄火装置的拉环，同时用脚勾回油门踏板，使固定销重新落入传动杆凹槽内；松开拉环，油门拉杆与熄火装置重新结合，转入正常的工作状态。

5. MLG21A 型灭火瓶

MLG21A 灭火瓶由瓶体、控制头和 1211 灭火剂组成。控制头通过锥形螺纹与瓶体连为一体。瓶体的容积为 2 L，瓶内装有 1.5 ~ 1.6 kg 1211 灭火剂（二氟一氯溴甲烷），并充入氮气加压至 2.94 MPa。

控制头装有两只型号为 BD-2 的电爆管，分别控制左、右两个喷口。根据起火部位，控制盒发出指令，引爆相应的电爆管，使子弹高速撞击空心的螺柱封口。螺柱部被撞断后，中心孔导通，灭火剂在高压作用下经虹吸管向外高速喷射。

6. 工作原理

火警在战斗室时，火焰传感器信号引爆灭火瓶电爆管，使其向战斗室喷灭火剂，同时，发动机熄火、增压风机停转。灭火 5 s 后，增压风机可自动启动。

火警在动力室时，工作程序与战斗室基本相同，区别仅在于发动机熄火后 5 s 喷灭火剂。

只要火焰未熄灭，经电路 10 s 延时后，火焰传感信号再引爆另一灭火瓶电爆管使其喷射。

在火焰传感器失灵时，可根据火警部位按下控制盒面板上战斗室或动力室控制按钮，通过电路中继电器、二极管控制使某灭火瓶喷射灭火剂。

二、烟幕及榴霰弹

烟幕是一种坦克装甲车辆的被动防护技术，即根据战斗形势和车辆状态的需要，释放出遮蔽烟幕，避免被敌方侦查、跟踪和瞄准。烟雾施放通常有热烟幕和抛射式烟幕两种方法。热烟幕是车内装置经柴油雾化后喷入发动机排气歧管，同发动机废气混合后排至大气中预冷而形成的。抛射式烟幕是利用安装在车外的抛射装置发射烟幕弹，在行进或静止车辆的正面短时间形成一定宽度和高度的烟幕墙。

榴霰弹装置用于发射榴霰弹（又称钢珠弹），以压制和杀伤接近车辆的人员和火器，从而提高坦克的总体防护性能。

（一）热烟幕装置

热烟幕装置可以全天候施放烟幕，并且烟幕持续时间长，但是烟幕效果受发动机工况、环境气象条件影响较大。另外，热烟幕装置消耗柴油量大，有效频谱较窄。烟幕施放属于单车伪装设备，也可由分队统一组织施放。

我国某型号主战坦克热烟幕装置由电动烟幕泵、止回阀、喷油器和油管组成（图 12-0-7）。

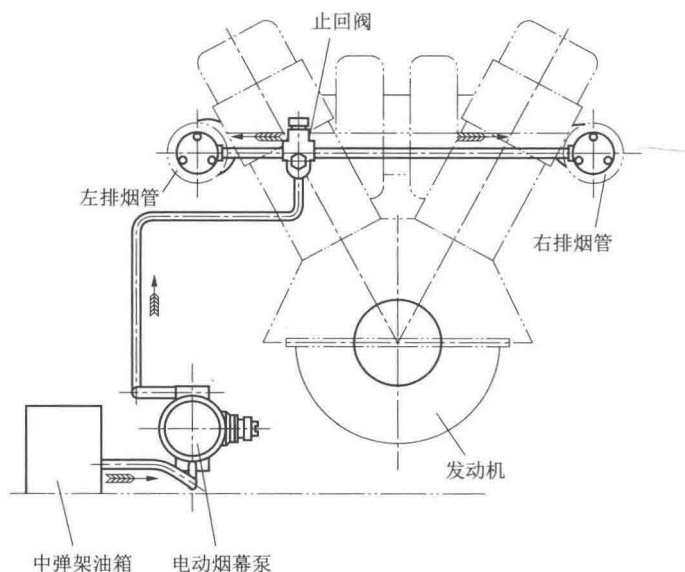


图 12-0-7 热烟幕装置

1. RXB-B 型电动烟幕泵

电动烟幕泵用箍带固定在发动机输出端联轴器下方的底装甲板的支架上，由直流电动机与旋转泵组成。直流电动机带动旋转泵工作。旋转泵构造与发动机低压柴油泵相似，其供油压力为 1.47 MPa。电动机连续工作时间为 10 min。

电动烟幕泵将从中弹架柴油箱来的柴油，以一定的压力泵至喷油器并喷入发动机排气歧管。

2. 止回阀

止回阀用于停止施放烟幕时，立即切断向喷油器的供油，同时防止废气进入发动机燃料供给系。

止回阀用螺栓固定在发动机进气管的附座上，由阀体、弹子、挺杆、弹簧、螺塞、接头体、销子和螺帽等组成（图 12-0-8）。

3. 喷油器

喷油器用来将柴油以雾状形式喷入发动机的排气歧管中。两个喷油器分左、右安装在发动机两侧排气歧管端部的接合盘上，均由喷油器体和涡流器等组成（图 12-0-9）。喷油器体上有一个切向进油孔和一个直径为 2 mm 的喷孔。柴油经切向进油孔进入拧在喷油器体上

的涡流器时，形成强烈的涡流，然后通过喷孔呈雾状喷出。

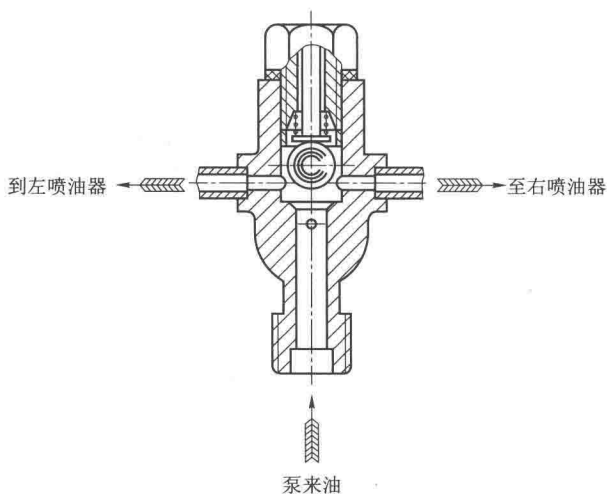


图 12-0-8 止回阀

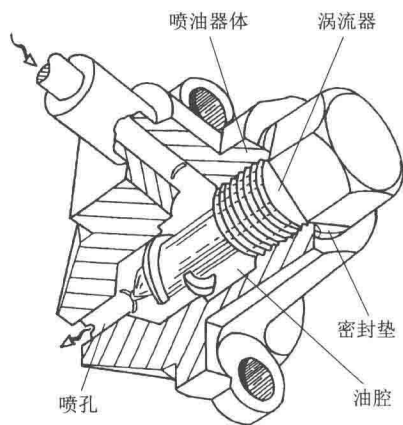


图 12-0-9 喷油器

4. 工作原理

当热烟幕开关接通后，来自中组弹架柴油箱的柴油，由电动烟幕泵以一定的压力经止回阀泵至喷油器雾化后，进入发动机排气歧管的废气流中，受热蒸发后形成蒸气和废气的混合气体。当混合气体排到大气中时，过饱和柴油蒸气迅速凝结成微粒并形成烟雾。

烟幕泵停止工作后，管道内压力消失，止回阀内弹子在弹簧力作用下将阀内进油通道封闭。

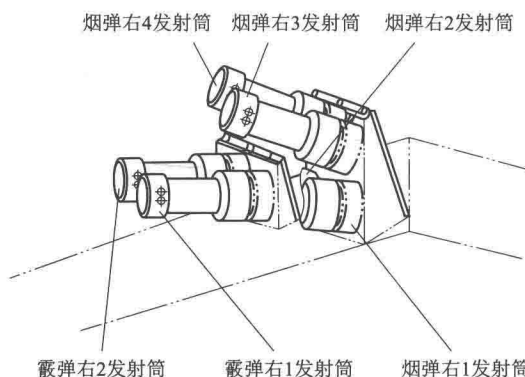


图 12-0-10 抛射式烟幕装置、榴霰弹装置安装简图

(二) 抛射式烟幕装置

某型号的抛射式烟幕装置由发射筒、支架、击发控制盒、电缆、导线组成（图 12-0-10）。发射筒共 8 具，炮塔左、右侧各 4 具，通过压套安装在支架上。支架焊接在炮塔上。击发控制盒安装在车长左侧，通过电缆、导线与发射筒连接。

1. 发射筒

发射筒由筒身、筒底、触针组件、密封垫、固定箍、筒盖、扭簧等组成

（图 12-0-11）。

筒身通过螺纹与筒底连接，其间装有密封圈。

触针组件由螺柱、触针、触针螺堵、触针绝缘套、触针簧、接头、螺套、绝缘套等组成（图 12-0-12）。触针组件用螺纹装在筒底上，其间装有橡胶密封垫。触针与触针螺堵之间装有绝缘套。发射导线连接在触针组件接头上。射击时，电流通过接头、触针簧、触针传给烟幕弹的电底火，使其发火。

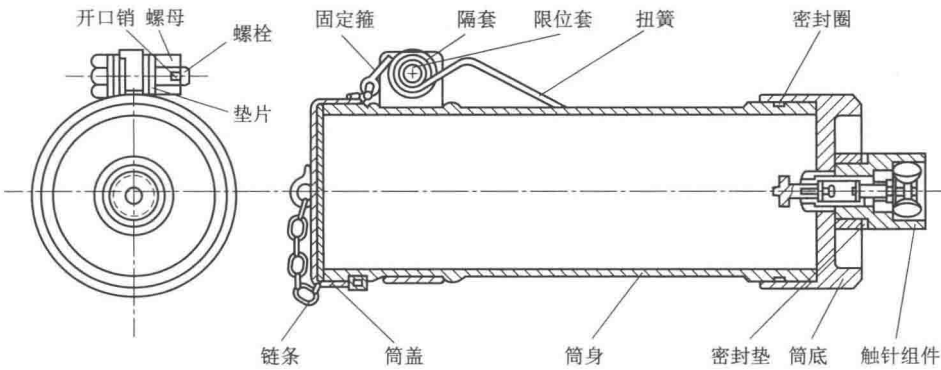


图 12-0-11 发射筒

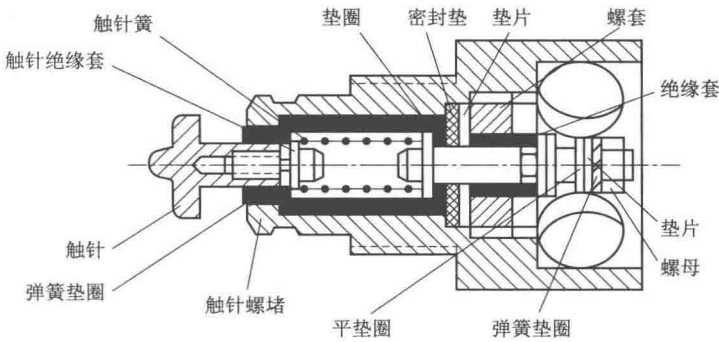


图 12-0-12 触针组件

2. 支架

支架部分由支架、支座、压套、护罩等组成（图 12-0-13）。发射筒装入支座内，并用压套压紧。

3. 电击发控制盒

电击发控制盒主要由箱体、烟幕弹与榴霰弹选择开关、电源指示灯、击发按钮、击发排档旋钮、检查与击发指示灯及电缆插座等组成。

4. 烟幕弹

烟幕弹由防水帽、弹体、药包、延期体及闭气装置、扩爆管、发烟剂等组成（图 12-0-14）。

5. 工作原理

抛射烟幕弹的电击发电流由炮塔配电板经电缆线进入电击发控制盒，再经外部导线传到发射筒触针，然后触发电底火。电底火被触发后点燃发射装药，最终使烟幕弹飞出发射筒。同时，发射药点燃烟幕弹中的延期体，并在弹丸飞出 100 m 左右点燃扩爆药以炸开弹体，并点燃发烟剂以形成烟幕。

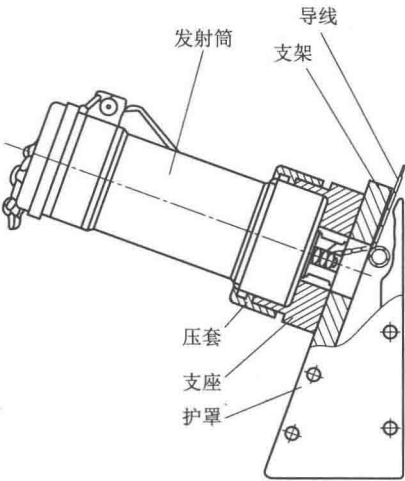


图 12-0-13 支架及安装

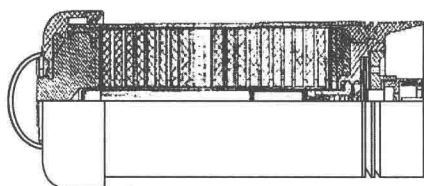


图 12-0-14 烟幕弹

(三) 榴霰弹装置

榴霰弹装置同抛射式烟幕弹装置一样，由发射筒、支架、击发控制盒、电缆、导线组成（图 12-0-10）。不同的是，榴霰弹发射筒共 4 具，炮塔左、右侧各安装 2 具。两种装置的电击发控制盒是公用的。发射筒是通用件，烟幕弹、榴霰弹则使用各自的发射筒。

榴霰弹结构如图 12-0-15 所示，由防水帽、前盖钢球套、药柱合件、壳体、起爆装置、加强延期体、药包、点火装置等组成。

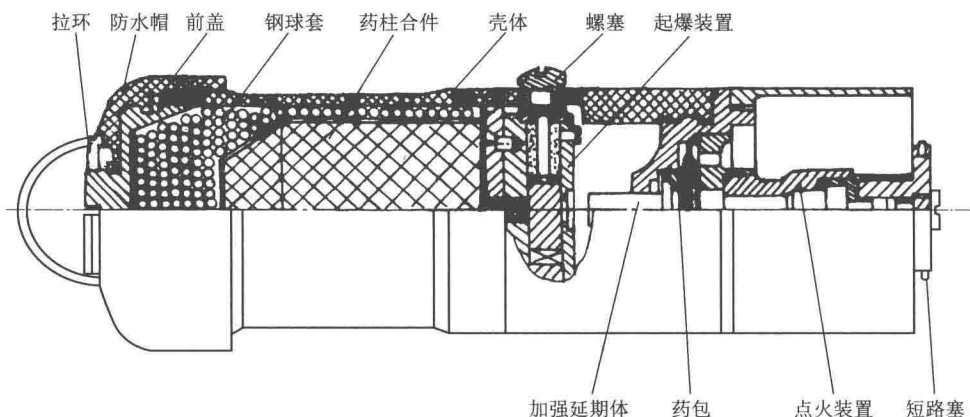


图 12-0-15 DTG 76 mm 榴霰弹

榴霰弹的电击发电流也是由炮塔配电板经电缆线、电击发控制盒传至榴散弹的点火装置，然后点火装置点燃药包将榴霰弹抛射出发射筒。在弹体飞行 120 m 左右后，延期体点燃起爆雷管，雷管点燃接力药柱，接力药柱点燃药柱合体，药柱合体爆炸后推钢珠飞出形成杀伤及破坏。

三、潜渡装置

潜渡装置是保证坦克沿河床底顺利通过水障碍的机构和器材。

潜渡装置的要求是能够保证：

- ① 车辆的密封；
- ② 向全车乘员和发动机供给空气，保证全车乘员在潜渡中的安全；
- ③ 排出进入车体内的积水；
- ④ 当发动机在潜渡中熄火时，防止水灌入发动机，并能重新启动发动机；
- ⑤ 坦克在水下按指定方向行驶；
- ⑥ 坦克出水后能迅速投入战斗。

某主战坦克的潜渡装置能保证通过深 5 m、宽 600 m 的河流。该坦克上潜渡装置的安装与分布如图 12-0-16 所示，由固定部分、可拆卸部分和个人救生器材部分组成。

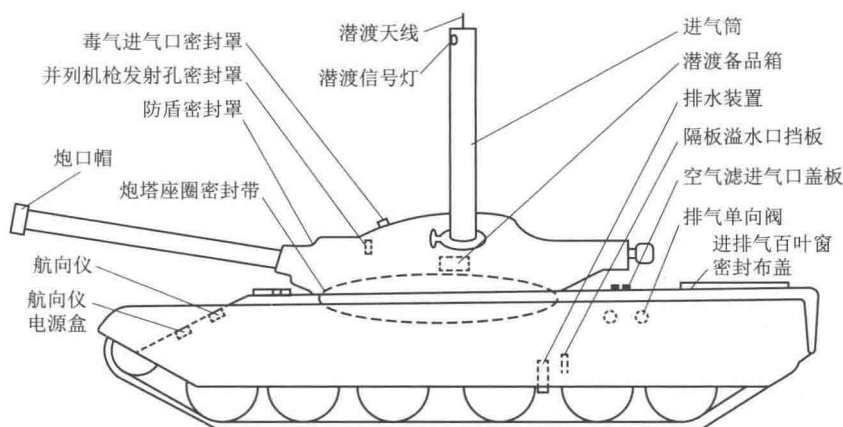


图 12-0-16 潜渡装置车上布置示意图

（一）固定部分

1. ZFT-2 型航向仪

航向仪用于潜渡时以及其他特殊条件下按规定方位指示坦克航向。航向仪安装在驾驶员正前方倾斜甲板上，其刻度环上有 300 个刻度，每个刻度 20 mil。

ZFT-2 型航向仪采用常规框架式三自由度陀螺仪的典型结构，利用三自由度陀螺仪对外环轴的稳定性来测量车体方向。陀螺仪的外环垂直安装，转子轴在水平面内稳定在给定的方位上。这样固定边在外环上的刻度盘的零线就可以保持稳定，并模拟地球子午线。固定在仪表壳体上的刻线指标模拟车体纵轴，它相对刻度盘之间的夹角即为车体的方向角。

2. 排水装置

排水装置的作用是排出坦克潜渡时渗漏进车体内的积水。排水装置安置在坦克战斗室的右后角，用螺栓、卡箍、连接支板把整个装置紧固在车体右侧甲板上。它主要由 ZDB-500 型直流潜水泵、铜板网、胶管、出水阀、卡箍、罩、连接支板、密封垫等组成（图 12-0-17）。

车辆下水前，应松开 V 形卡箍的螺钉并把罩取出，而后使各机件复位并紧固。潜水泵由驾驶室检测仪表板上的潜水泵开关控制。

（二）可拆卸部分

潜渡装置中的可拆卸部分有：进气筒、排气单向阀、进排气百叶窗密闭布盖、炮口密封帽、并列机枪发射孔密封盖、空气滤进气口密封盖板等。

1. 进气筒

进气筒用来保证密封后的车辆在水下行驶时向全体乘员及发动机提供空气，主要由底筒、中筒、顶筒组成（图 12-0-18）。

2. 排气单向阀

排气单向阀的作用是防止车辆在水下行驶而发动机熄火时河水倒灌入发动机。

排气单向阀主要由阀门、阀座、上下弹簧座、弹簧及支架等组成（图 12-0-19）。

发动机工作时，阀门在废气的作用下呈开启状态；不工作时，阀门在弹簧与水的压力下呈关闭状态。

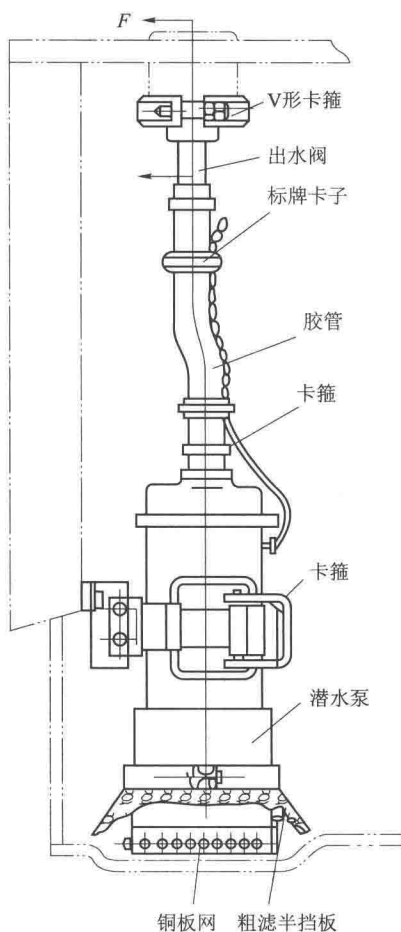


图 12-0-17 排水装置

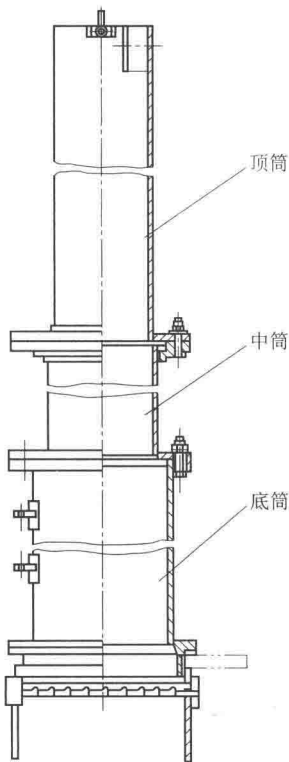
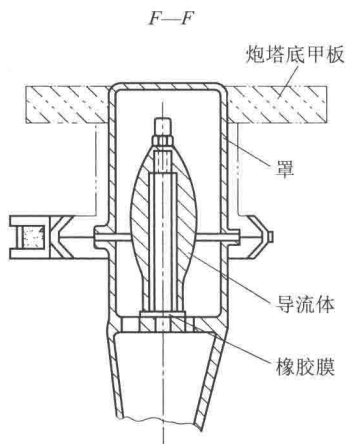


图 12-0-18 进气筒

3. 炮口密封帽

炮口密封帽是橡胶硫化而成的密封件，用来保证潜渡时炮口的密封。炮口帽的启封采用雷管和导爆索爆破方式。安装时将导爆索沿炮口端边缘四周缠一圈，连同一个雷管用黑胶布在接口处裹住；雷管导线与爆破电缆连好，并用黑胶布包裹好后，将电缆沿火炮上方纵向拉出，并将电缆插头插到位于左前方防空灯处的插座上；把炮口挡板贴到炮口，然后把炮口帽套上，并用卡箍卡紧（图 12-0-20）。

（三）个人救生工具

个人救生工具包括呼吸救生器、面罩和一条充气救生圈，可保证坦克乘员在 5 m 深水中正常呼吸 20 min。

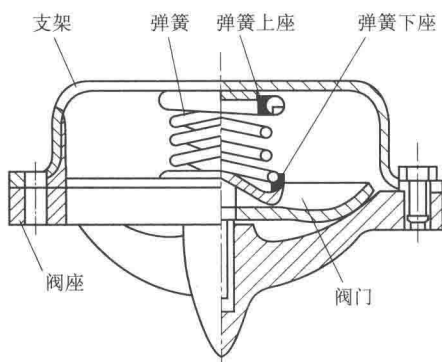


图 12-0-19 排气单向阀

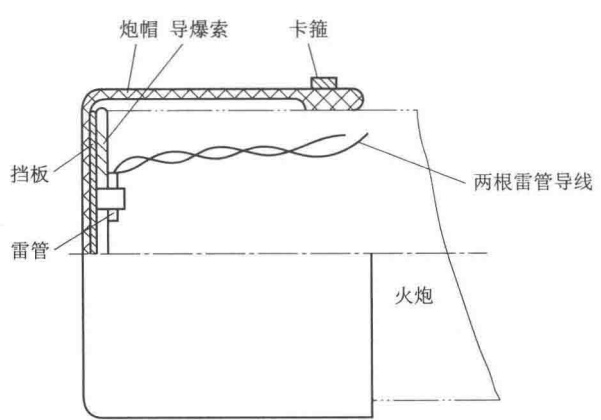


图 12-0-20 炮口密封帽

TH83-1 型呼吸救生器的结构如图 12-0-21 所示。气瓶所储存的高压空气先经减压阀（一级减压阀）降至适当压力，再输送到呼吸调节器（二级减压阀）进行精细调节，然后供乘员呼吸使用。

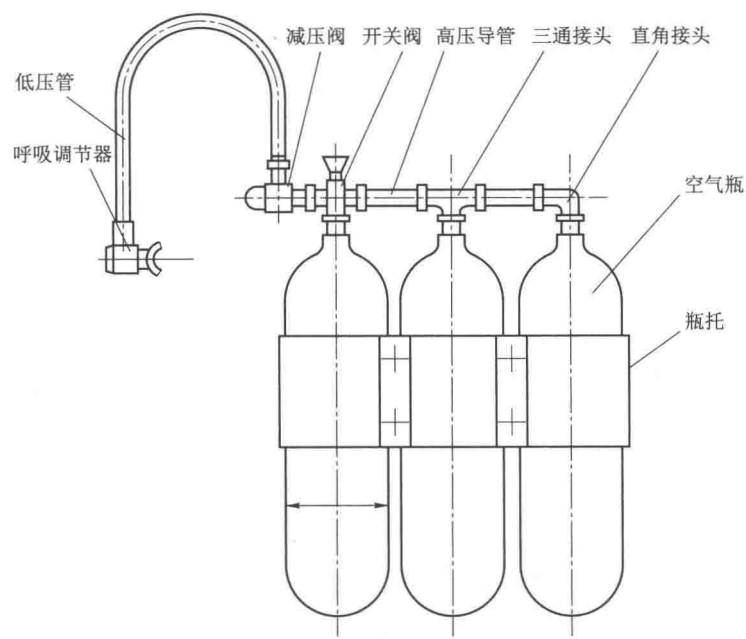


图 12-0-21 TH83-1 型呼吸救生器

四、三防装置

三防装置是坦克装甲车辆在遭受原子、化学、生物武器袭击时，保护乘员及车内部件不受伤害，提高车辆和乘员战场生存能力的一种特殊防护装置。三防装置是现代主战坦克上必备的防护装置。

核武器的伤害主要有：冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染。在战场情况下，坦

克首先应具备防御冲击波和早期核辐射的能力，主要的防护方法是加强装甲强度，提高密封性能；其次还需要防御光辐射和放射性污染。防御光辐射时，乘员应迅速躲避，光学设备应安装防闪光装置或采用特殊的变色玻璃。此外，和防御早期核辐射一样，坦克装甲车辆需要提供密封、滤毒、通风系统。

化学武器主要包括神经性（沙林等）、全身中毒性、失能性、刺激性、糜烂性、窒息性毒剂等。其中采用较多的化学武器为气态的速杀性毒剂，它主要破坏人的中枢神经。这些毒剂多为无色无味，如含磷的沙林毒剂等。

生物武器主要指细菌、立克次体、病毒和致毒力强、伤害途径多、传染力强、作用持久的真菌等，共有十余种。生物武器通常利用昆虫或制成干粉、极细小颗粒进行散布。生物战剂粒子比化学战剂粒子体积大。

防生物武器、化学武器的措施与防御光辐射、放射性污染的防护方法是一致的，都是采用同一套密封、滤毒、通风系统。

我国某主战坦克的三防装置的特点是：

- ① 具有防核武器和含磷化学武器、自动报警、自动关闭密封、自动净化污染空气、自动显示超压、在乘员室建立超压等功能，从而保证了乘员在不穿戴个人防护器材情况下也是安全的，在三防状态下仍具有良好的战斗操作能力；
- ② 备有原子和化学报警、自动控制线路模拟试验和自检设施；
- ③ 在放射性污染地域能自动以数字形式显示车内受外照射的累积剂量；
- ④ 备有个体防护器材，供乘员出车作业或在应急防护情况下佩戴。

（一）构造

我国某主战坦克的三防装置由探测器和电气控制装置、过滤通风与关闭机构和超压指示器组成，与整车密封机件配套构成超压式集体防护系统。各部件在车上的安放位置如图 12-0-22 所示。

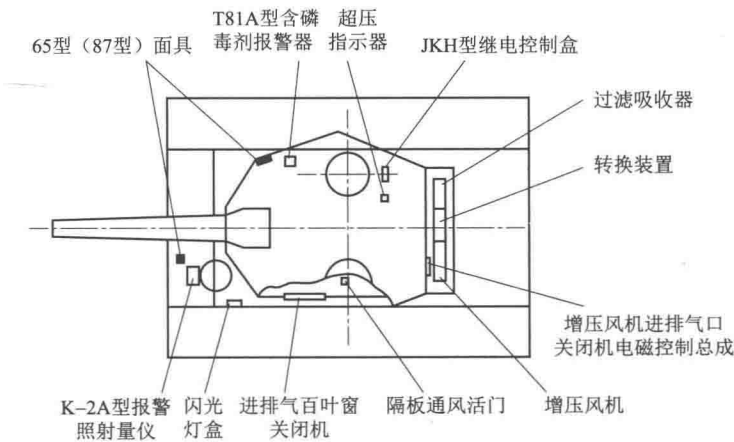


图 12-0-22 坦克超压集体防护三防装置部件位置图

1. 探测器和电气控制装置

探测器和电气控制装置包括 K-2A 型报警照射量仪、T81A 型含磷毒剂报警器、闪光灯盒、

JKH 型继电控制盒。其中，JKH 型继电控制盒已经在前面的灭火抑爆装置中做了简单介绍。

(1) K-2A 型报警照射量仪

K-2A 型报警照射量仪吊装在驾驶室前方顶甲板上。

机芯由 γ 射线报警电路、 γ 射线照射量测量显示电路、电源电路以及供自检电路用的 β 放射源和照射活门联动机构等组成。

当仪器电路中的探测元件受到 γ 射线照射后，即有电流脉冲输出，脉冲数与 γ 射线照射量成正比。当照射量率达到 $26 \mu\text{C}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 时，对应输出的脉冲被积分电路积分后输出电压，触发继电开关电路使其导通，从而输出两路报警电信号并使报警指示灯发光。同时，测量显示电路的探测元件——电离室也输出电荷，并加到电荷-脉冲变换电路，其电荷量随 γ 射线照射量变化。对应于每一伦照射量，变换电路便输出一个计数脉冲，并将其在计数管上显示出来。

(2) T81A 型含磷毒剂报警器

T81A 型含磷毒剂报警器安装在炮塔右侧内壁上，主要由电路系统和气路系统两大部分组成。仪器上的进气口由一根特制的导气管与炮塔顶甲板上开设的进气口相连。壳体下方的推拉式附件盒里面装有模拟毒剂用的信号检查器、备用的转化纸、过滤纸、干燥管、指示灯灯泡、保险管、镊子等。电路系统方框如图 12-0-23 所示，气路系统如图 12-0-24 所示。

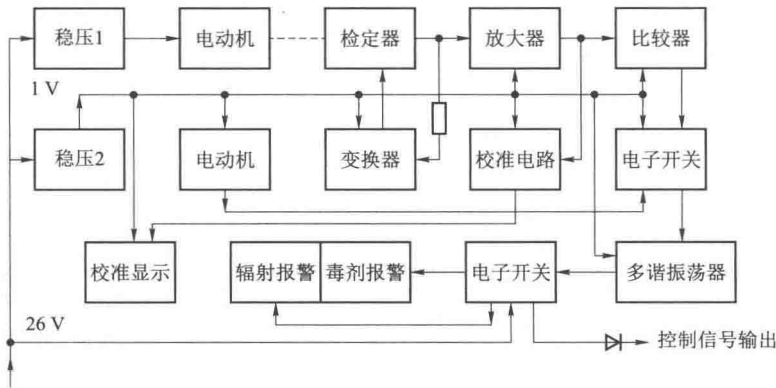


图 12-0-23 电路系统方框图

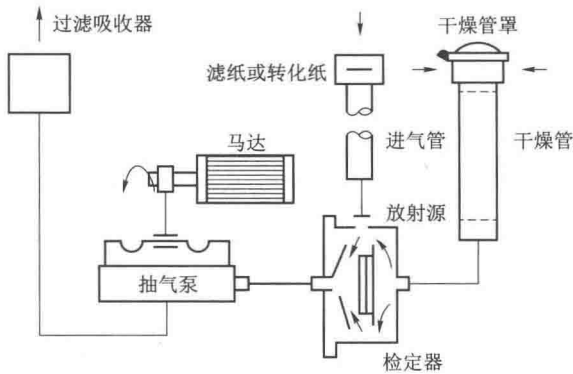


图 12-0-24 气路系统图

该仪器利用电子捕获原理对含磷毒剂沙林等进行检测，检测原理如图 12-0-25 所示。

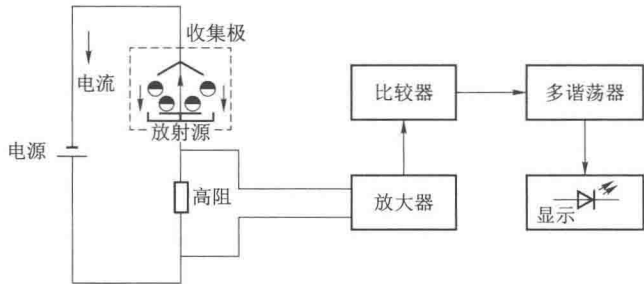


图 12-0-25 毒剂报警器检测原理图

检定器内放射源（ ^{241}Am ）不断放射出甲种射线，使空气中的氮气电离成带正电的氮离子 N^+ 和电子，当在放射源（源极）和收集极之间通过高阻加上极化电压后，电子向源极迁移， N^+ 向收集极迁移，从而形成电流（称基流）。基流主要是由迁移速度较快的电子形成。当含磷沙林型毒剂的污染空气被吸入检定器时，毒剂分子就“捕获”电离的电子，形成带负电荷的分子。带负电荷的分子继续向带正电的源极迁移的过程中，很容易与 N^+ 碰撞生成中性物，使基流大为下降。这一变化的大小反映了空气中含有磷毒剂的浓度。当毒剂浓度达到一定值时，报警器即发出毒剂报警电信号。

(3) 闪光灯盒

闪光灯盒吊装在驾驶室前部的顶甲板上，受 T81A 型含磷毒剂报警器和 K-2A 型报警照射线仪输出的报警信号控制后，分别发出频率为 1.5~4.5 次/s 的红色和黄色闪光信号。

2. 过滤通风与关闭机构

过滤通风与关闭机构是三防装置的执行机构，由进排气百叶窗关闭机、隔板通风活门关闭机、过滤通风装置等组成，具有自动关闭、半自动关闭以及手动关闭、手动开启功能。

(1) 过滤通风装置

过滤通风装置由除尘增压风机、转换装置、过滤吸收器、增压风机进气口、增压风机排气口和关闭机构组成（图 12-0-26），并布置在尾箱中。

图 12-0-26 中“→”为通风工况的气流方向。

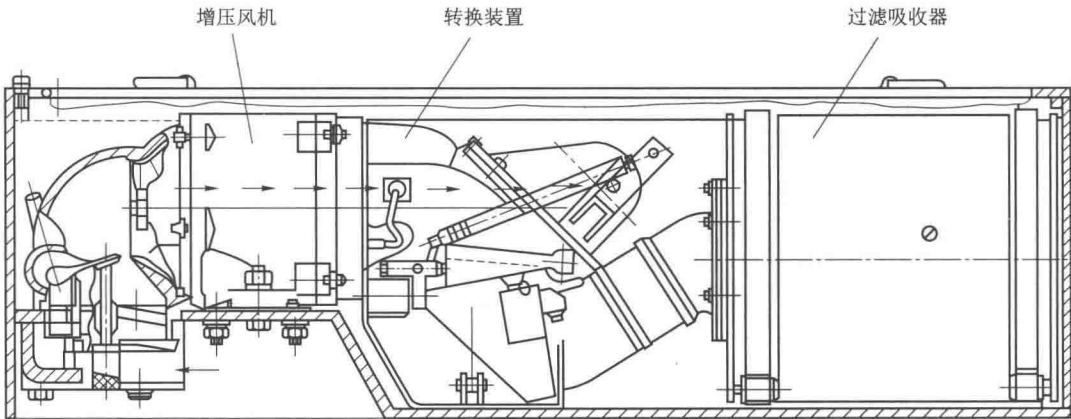


图 12-0-26 过滤通风装置

当进、排气口活门开启，风机运转时，车外污染空气便经过护盖、过滤网进入除尘增压风机（图 12-0-27）。风机叶轮在电动机带动下高速旋转，产生的离心力把大颗粒污染灰尘从空气中分离并通过排尘口排出车外。被除尘的空气再进入过滤吸收器（图 12-0-28）。过滤吸收器由过滤材料和毒剂吸收材料及其他零部件组成，能过滤污染空气中的化学毒剂、生物战剂及极微小的放射性尘埃，实现二级过滤，从而使污染的空气变为清洁空气，再将其由三滤吸收器的出气口输出给乘员，供乘员呼吸。

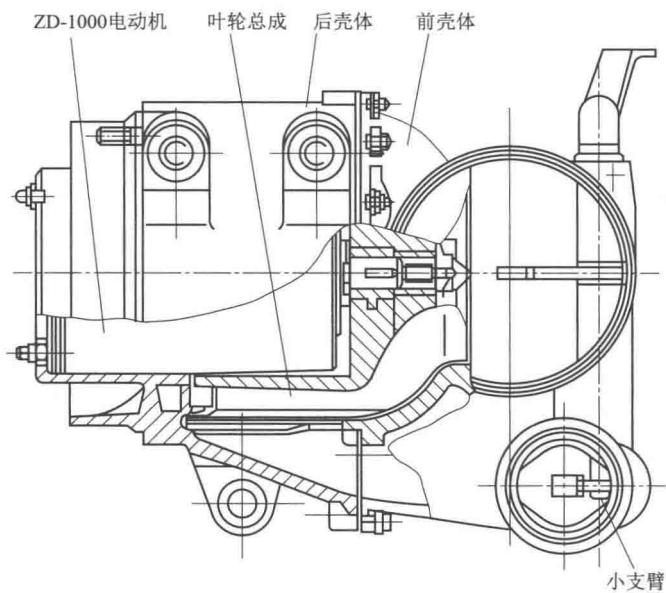


图 12-0-27 除尘增压风机

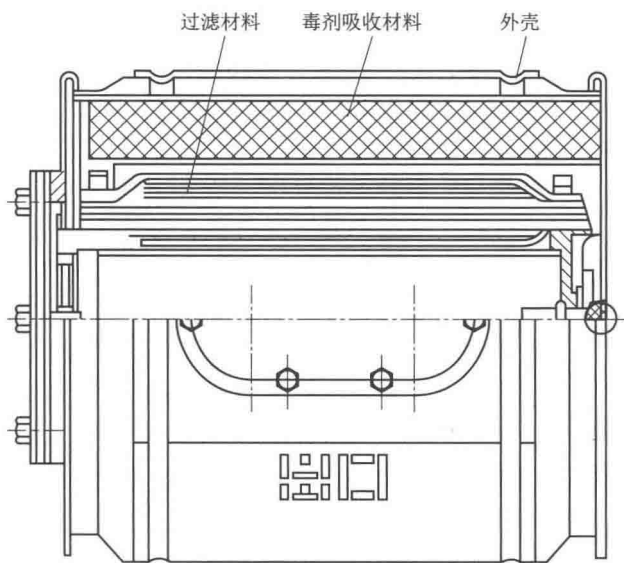


图 12-0-28 过滤吸收器

风机的超压作用在密闭的乘员室建立起超压，阻止车外污染空气从微小缝隙进入乘员室。

当需要通风时，气流通过转换装置的通风口，直接进入乘员室。

转换装置的机构简图如图 12-0-29 所示。乘员通过操纵机构、钢丝绳及接头拉动拉臂，并由杠杆使活门盖将通往过滤吸收器的通道盖住，此时系统处于通风工况。

电磁控制总成用于控制增压风机进排气口的关闭（图 12-0-30）。图示位置，控制杆处于闭锁状态，风机进排气口处于开启状态。当电磁铁通电时，闭锁销轴被向下吸动，右侧控制杆在风机进排气口关闭机构的弹簧力作用下左移，机械闭锁解脱，风机进排气口处于自动关闭状态。当控制杆处于图示位置闭锁状态时，微动开关被压块压下，传出风机进排气口处于开启状态的指令，控制系统依据该指令控制增压风机的启动。因此，通过该微动开关就实现了风机进排气口开启与风机启动之间的电气互锁。

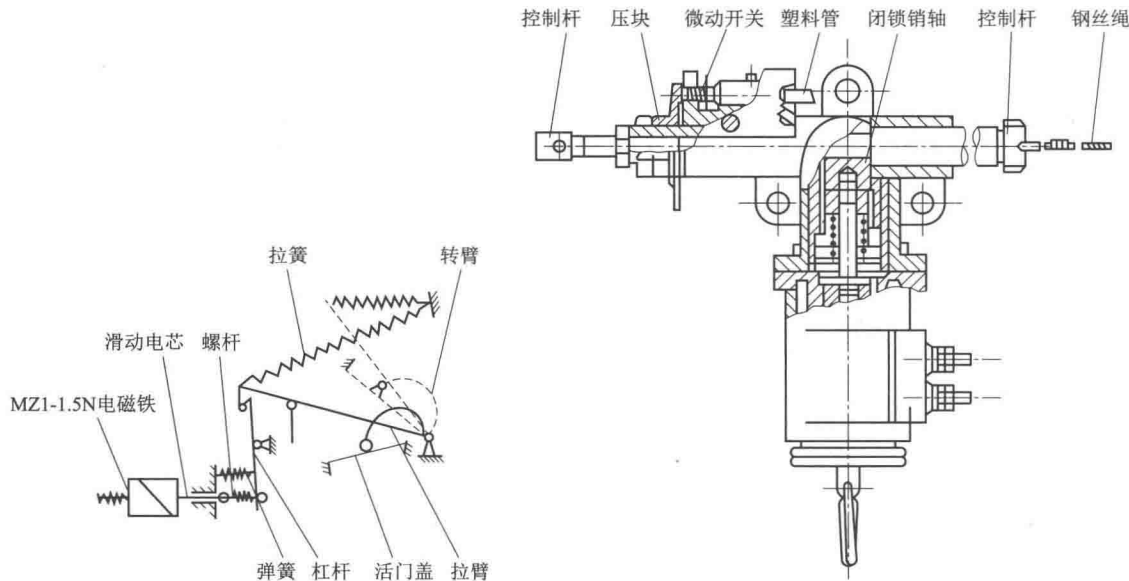


图 12-0-29 转换装置机构简图

图 12-0-30 增压风机进排气器关闭机电磁控制总成

(2) 进排气百叶窗关闭机

进排气百叶窗关闭机串接在百叶窗操纵拉杆中（图 12-0-31），由弹簧锁钉、套筒等组成，用于关闭动力室进排气百叶窗。螺塞中的闭锁销轴卡入轴杆的凹槽里，弹簧被压缩，关闭机呈开启状态。体内装有一型电爆管，当电爆管爆发或用手拉动闭锁轴上的手握杆时，闭锁销轴脱出，轴杆在弹簧的作用下向前移动，带动连接在轴杆上的百叶窗操纵拉杆移动，使进排气百叶窗关闭。开启百叶窗时，驾驶员须向前推动百叶窗的操纵握把，使整个关闭机体向前运动，压缩弹簧并使闭锁销轴重新卡入轴杆的凹槽内，使关闭机又与操纵拉杆呈一体状态。关闭机重新处于开启状态。

(3) 隔板通风活门及关闭机构

隔板通风活门安装在车体隔板左下角处，由密封盖、活门体、压紧弹簧、钢丝绳等组成。关闭机电磁控制总成安装在油箱侧表面，由操纵杆、导杆、电磁铁、套筒轴、拉环等组成。开启活门（图 12-0-32）时，逆时针拉操纵杆，带动导杆，拉紧钢丝绳，使通风活门内的压紧弹簧压紧，密封盖开启。关闭通风活门时，拉电磁拉环或给电磁铁通电，则套筒轴解脱，钢丝绳松开，通风活门内的压紧弹簧解脱压紧力，使密封盖与活门体密封。

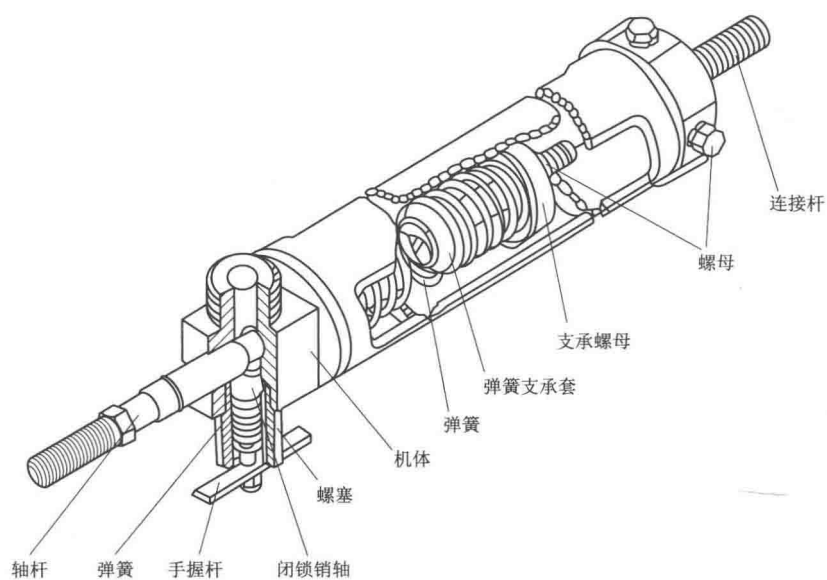


图 12-0-31 关闭机

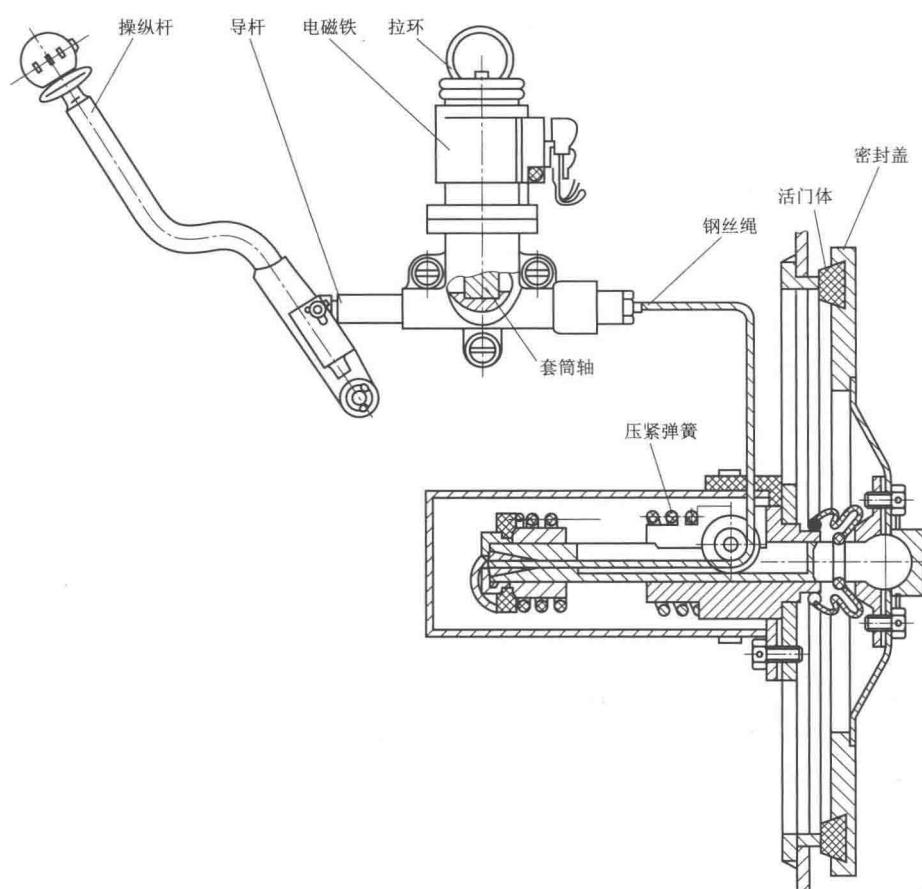


图 12-0-32 隔板通风活门及关闭机构

3. 超压指示器

超压指示器装在车长门后，由浮子、超压指示器、垫圈、紧固螺钉等组成（图 12-0-33）。

使用时，把紧固螺钉拧松，指示器即与车外大气相通。当乘员室处于三防状态并建立起大于 140 Pa 的超压时，超压指示器中的浮子自动升起并保持位置，使乘员了解车内装置的防护工作状态。

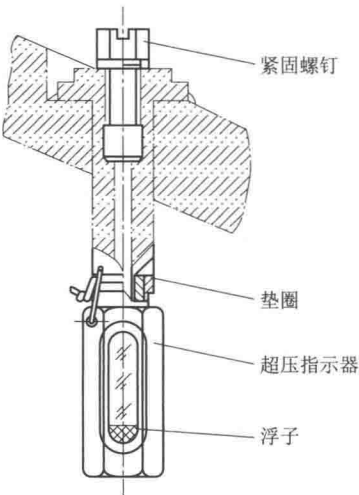


图 12-0-33 超压指示器

(二) 工作原理

三防装置的电气控制方框图如图 12-0-34 所示。

1. 核武器攻击时

当遭受核武器攻击时，探测系统探测到放射信号，发出报警信号；JKH 继电控制接到原子报警后，分别向百叶窗关闭机、通风活门电磁铁、转化装置电磁铁、风机口关闭机输出信号使其封闭。若需要再次启动风机，乘员应按下系统中的启动按钮。

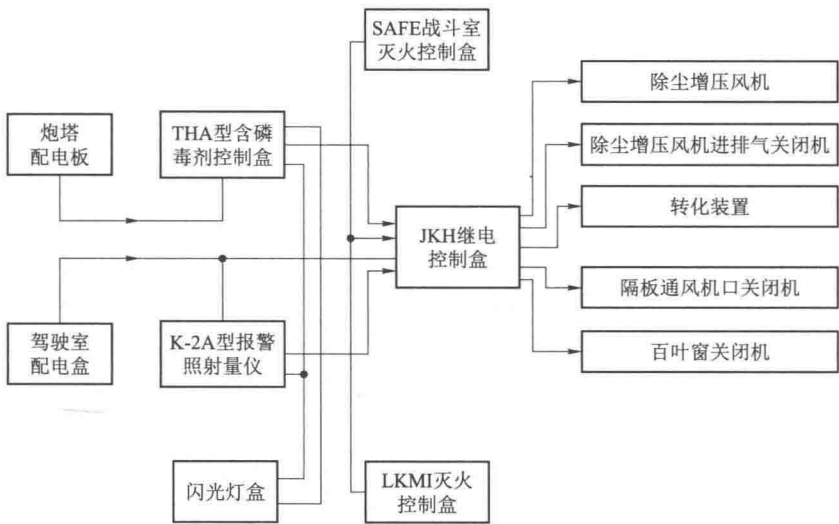


图 12-0-34 电气控制方框图

2. 化学毒剂攻击时

当遭受化学毒剂攻击时，探测系统发出报警信号。JRH 型继电控制盒接到毒剂报警信号后，输出控制信号使百叶窗和风机关闭机不关闭，风机继续旋转。

3. 手控风机

手动开启增压风机进、排气口时，风机口关闭机的微动开关接通，指示灯亮；按下启动按钮后，风机启动，同时运转指示灯亮；当按下停止按钮，再按下“转检”按钮后，转换装置即转换为“过滤”状态。

4. 三防装置的半自动功能

当通过其他方式得到防护指令时，可利用半自动控制功能，使车辆进入防护状态，其控制程序为：乘员按下 K-2A 型报警照射量仪的“手检”按钮，此时该仪器便能输出一个报警信号，系统按照遭受核武器攻击时的程序动作。乘员按下了 JKH 继电控制盒上的“半自动”按钮后，系统也按照核武器攻击时的程序动作。



第五篇

坦克装甲车辆的电气与通信系统

第十三章

电气设备与检测仪表

坦克装甲车辆的电气设备是各种电动机电气、仪器仪表的综合体。按照功用不同,电气设备可分为电源装置、启动装置、耗电装置、辅助装置和检测仪表装置几大部分。在发动机部分已经介绍了电启动装置,本章介绍其他部分。

第一节 电源装置

电源装置应保证车辆在各种使用条件下能不间断地向各耗电装置供电,确保各耗电装置正常与可靠地工作。

电源装置主要由发电机、蓄电池和电压调节器三部分组成。发电机是坦克装甲车辆的主供电装置,它可以在发动机正常运转时间内向各电器负载供电和向蓄电池充电;蓄电池辅助供电装置,用于在发电机不工作或其电能不能满足电气负荷需要时,与发电机一起向电气负荷供电;电压调节器使得发电机输出的端电压被控制在规定范围内。

一、无刷硅整流发电机

坦克装甲车辆上的发电机是把机械能转换为电能的装置。

某主战坦克 WGFT10K 无刷硅整流发电机由三相交流低压发电机与风冷三相桥式整流器两部分组成,该发电机必须与 LTD6 型电压调节器配合使用,并与蓄电池并联配套工作。

WGFT10K 无刷硅整流发电机额定功率为 10 kW,额定电压为 28 V,额定电流为 357 A。

(一) 构造

WGFT10K 无刷硅整流发电机水平安装在发动机曲轴箱左侧,由曲轴通过齿轮传动和液力偶合器带动旋转。

1. 同步发电机

同步发电机结构主要由定子(包括定子铁芯与定子绕组)、转子(包括两个风扇、滑环、转子绕组、爪形磁极、转子轴等)、后端盖(包括接线柱、电刷、轴承、电刷架、带散热器的硅整流器、插座等)、前后盖、护带、固定螺栓等组成(图 13-1-1)。

2. 整流器

整流器主要由正元件组、正元件组散热器、冷却风扇拖动电动机、冷却风扇、风罩、负

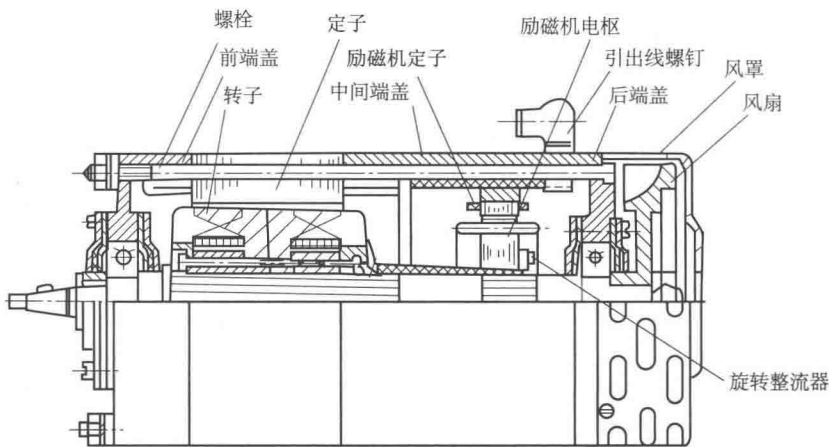


图 13-1-1 同步发电机

元件组、负元件散热器等组成（图 13-1-2）。

（二）工作原理

当发电机转子在发动机带动下转动时，由于转子磁极的剩磁磁场相应旋转，定子绕组中便产生了感应电势。定子绕组由三组同样的线圈均匀、等距地安装在定子铁芯上，所以感应电势是三相交流电势，经过三相桥式全波整流器整流成直流电，供给各耗电装置及发电机自身激磁之用，同时还对蓄电池组充电。

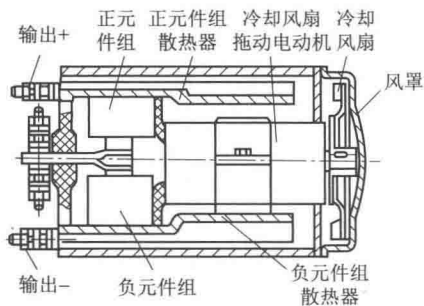


图 13-1-2 整流器

二、蓄电池

坦克装甲车辆蓄电池额定容量大、放电能力强、低温启动性能好、机械强度高，并且耐振、耐低温、抗冲击能力强，还具有较好的阻燃性。

某主战坦克蓄电池装有四块 6-TKA-180 型蓄电池，该型蓄电池额定容量为 180 A 时，额定工作电压为 12 V。在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以 540 A 电流启动，连续放电使端电压降至 6.0 V 时，该型蓄电池的持续时间超过 1.5 min。

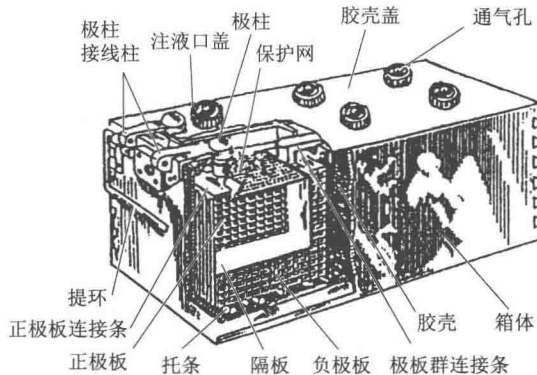


图 13-1-3 蓄电池

（一）构造

蓄电池结构如图 13-1-3 所示，由六个电压为 2 V 的单体蓄电池串联组成，并装在内有六个相同框架的壳体内。每个单体蓄电池由极板群、隔板、电解液、极板连接条等组成。

1. 极板群

极板由作用物质和栅架组成。栅架是极板的吊架，由铅、锑、砷三元合金制成。栅架上涂有二氧化铅的是正极板，涂有海绵状铅的是负极板（图 13-1-4）。每个极板群有 16 片正极板和 17 片负极板互相交错装在一起，组成极板群。

2. 隔板

隔板插在正、负极板之间，用来防止正、负极板短路。隔板由微孔橡胶组成。

3. 极板连接条

极板连接条用铅锑合金铸成，用于连接相邻极板组，六个极板群串联后才构成 12 V 电压的蓄电池。

4. 壳体

壳体由槽体和槽盖两部分组成，当极板群和极板群连接条在壳体内安装和连接好后，槽体和槽盖热封黏结成一体，成为全埋式结构。

5. 电解液

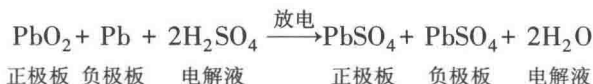
电解液用纯硫酸与蒸馏水配成，用来和极板上的作用物质进行化学反应，以产生电能。

（二）工作原理

蓄电池可将电能转变为化学能储存起来，当需要时再将化学能转变为电能输出。化学能和电能的转变过程就是蓄电池充电和放电的过程。

1. 放电过程

当蓄电池的正、负极柱连接条用导线连接负载时，正、负极板上的作用物质就与电解液产生化学反应，使蓄电池向负载输出电流，该过程称为放电。蓄电池的放电过程是化学能转化成电能的过程。放电时，正、负极板和电解液产生下列反应：



放电过程中，蓄电池正极板上的二氧化铅、负极板上的海绵状铅和电解液中的硫酸进行化学反应，使正极板上的二氧化铅、负极板上的铅逐渐变为硫酸铅，电解液中的硫酸逐渐变成水。随着放电程度的增加，电解液的密度逐渐下降。正、负极板上硫酸铅导电不良，使蓄电池的内阻增大，结果使蓄电池的容量、电压均降低，供电能力逐渐减小。

2. 充电过程

放完电后，蓄电池的容量、电压均降低，供电能力减小，为恢复蓄电池的能力，需要对蓄电池进行充电。给蓄电池加一直流电源，当直流电源与蓄电池并联，并使电源电压高于蓄电池的电动势时，蓄电池中便有由正极到负极的电流，该过程称为充电。充电过程是电能转变成化学能的过程。

充电反应是放电反应的逆反应：

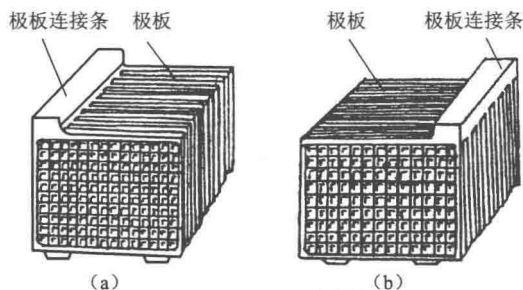
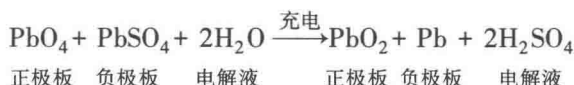


图 13-1-4 极板群
(a) 正极板群；(b) 负极板群

充电过程中,在外电源的作用下,正、负极板上的作用物质与电解液发生同放电时相反的化学反应,负极板上的硫酸铅逐渐转变为海绵状纯铅,正极板上的硫酸铅逐渐转变为二氧化铅,电解液中的硫酸成分逐渐增加,电解液的密度逐渐增大,蓄电池的内阻同时减小。充电反应的结果是蓄电池的容量增大、电压增高,蓄电池恢复供电能力。

三、LTD6 电压调节器

LTD6 电压调节器与蓄电池、发电机一起组成车辆的电源装置,并用来稳定电源装置的输出电压,以满足耗电设备需要。LTD6 电压调节器具有电压调节、瞬间过压保护及故障过压保护功能,在正常情况下,可不依靠蓄电池,仅借助发电机剩磁建压工作。

LTD6 电压调节器的电压调节范围为 $(28 \pm 2) \text{ V}$, 瞬间过压保护为 $38 \sim 40 \text{ V}$, 故障过压保护为 $30.5 \sim 32 \text{ V}$ 。

LTD6 电压调节器主要由壳体、过压保护板、电压调节板、可控硅、继电器、钽电解电容与晶体管等组成(图 13-1-5)。

当发电机的转速或负载变化时,电压调节器自动调节发电机的激磁电流,使发电机输出的端电压保持在规定的范围内;当供电系统回路中产生瞬间过电压时,能使某过电压的幅值和持续时间限制在所规定的范围内,并能在过电压消失后恢复正常工作;当因系统故障或

调节器本身元件损坏造成调节电压失控而产生故障过电压时,能使电压幅值持续时间限制在规定的范围内。

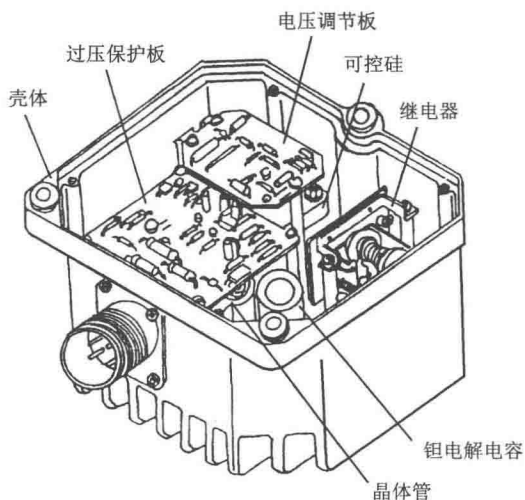


图 13-1-5 电压调节器

第二节 耗电装置

坦克装甲车辆的耗电装置主要分以下几种:

① 各种直流电动机:如电启动装置的启动电动机、润滑系统的机油泵电动机、炮塔方向机的执行电动机、双向稳定器的电动机扩大机、液压放大器的油泵电动机、加热器电动机、排水装置的直流潜水泵电动机、雨刷电动机、冲洗电动机、驾驶员(炮长、车长)风扇电动机、热烟幕电动机等。

② 控制元件、传感元件或仪器仪表等:如火控系统、武器电击发装置、夜视夜瞄装置、发动机排温自控装置、空气滤清器阻力报警装置、通信设备、灭火及抑爆装置、抛射式烟幕装置、K-2A 型报警照射量仪、QKH-2B 启动机控制盒、配电盒、操纵台、陀螺组、放大器、助力压力表、机油压力表、油温表、水温表及其所用传感器等。

③ 各种灯具及报警器:照明灯具,有车辆前灯、转弯灯、制动灯、半圆罩灯、活罩灯及工作灯等;指示灯具,有号码灯、前后外廓灯、示界信号灯、标高灯等;报警器,有电报

警器、三防装置中的报警器等。

④ 电热元件：如防霜加温装置、加温器电热塞等。有的坦克装甲车辆上还装备有空调设备，一些特种车辆装备的作业控制装备都是耗电设备。

一、风扇电动机

某主战坦克共有两个风扇电动机，用来驱动炮塔风扇与车体风扇，以排除火炮射击后车内积存的火药气体、冬季加温时车内积存的浓烟，以及灭火后车内的灭火剂和有害气体。该电动机结构如图 13-2-1 所示。

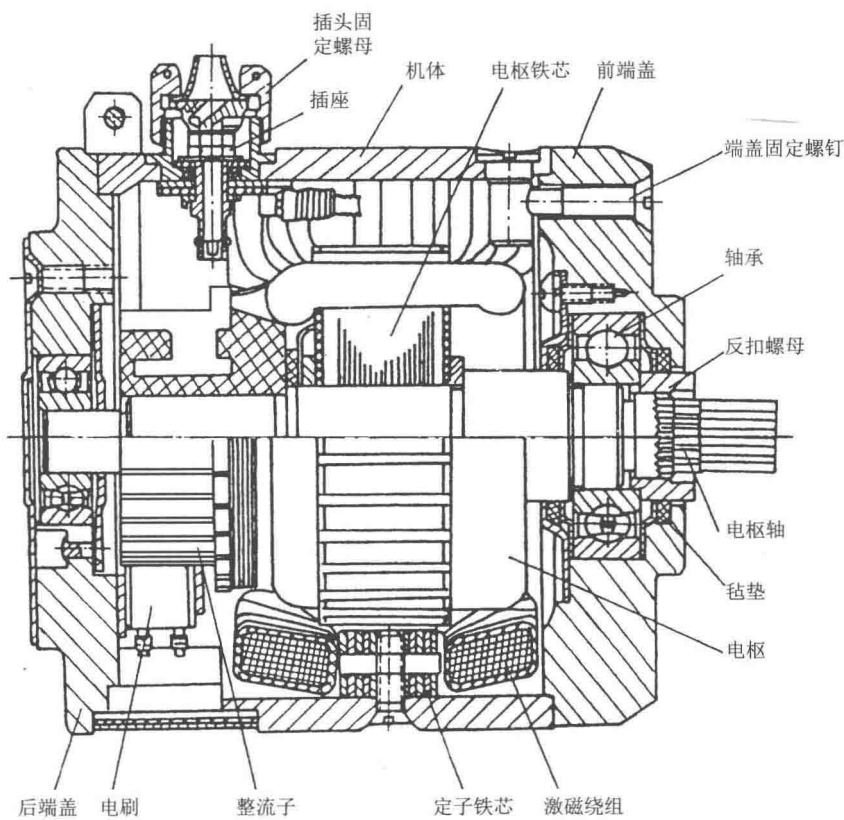


图 13-2-1 风扇电动机

二、加温器电气装置

加温器的电气设备包括加温器电动机、电阻盒、加温器开关板及加温器电热塞。加温器电动机安装在加温器上部，用来带动风扇将空气送入加温锅的燃烧室；带动柴油泵将柴油输至喷油器；带动水泵将经过加温的冷却液泵至发动机冷却系。电动机的电源直接由主配电板上引出，由加温器开关板上的开关控制。加温器开关板安装在车体左侧装甲板上，电阻盒安装在战斗室左侧车体顶甲板上，加温器电热塞安装在加温器内部。

加温器电气接线如图 13-2-2 所示。

三、排温自动控制装置

发动机排温自动控制装置用于保证发动机工作在正常温度内。当发动机涡轮后的排气温度超过规定值时，该装置可自动减油，降低排气温度，保证发动机的正常工作。

发动机排温自动控制装置由传感器、控制盒、执行器及执行机构组成，其系统组成如图 13-2-3 所示。传感器检测发动机的排气温度，并将检测信号输入控制盒，当排气温度超过规定值时，控制盒输出控制信号至执行器，推动执行机构减油，直至排气温度下降到规定值以下；当排气温度不超过规定值时，则控制盒处于监测状态。

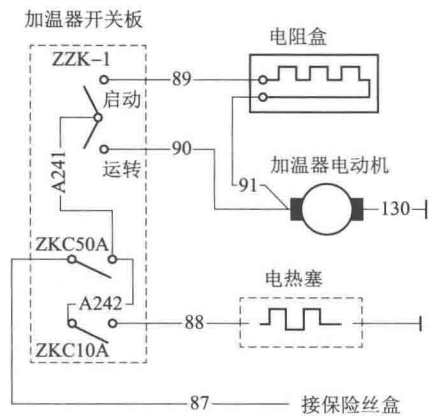


图 13-2-2 加温器电气装置

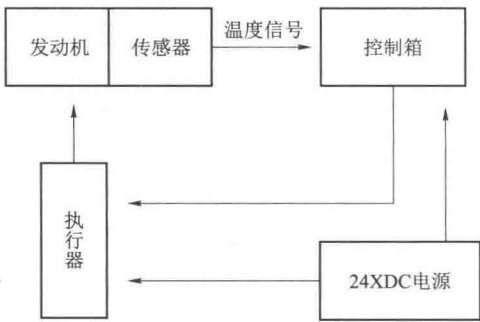


图 13-2-3 排温自动控制装置

四、空气滤清器阻力报警装置

空气滤清器进气阻力增加到一定值后，其阻力传感器触点接通电路，信号灯亮，此时空气滤清器阻力报警装置报警给驾驶员，以便驾驶员及时清洗滤清器，保证发动机可靠工作和安全运行，如图 13-2-4 所示。

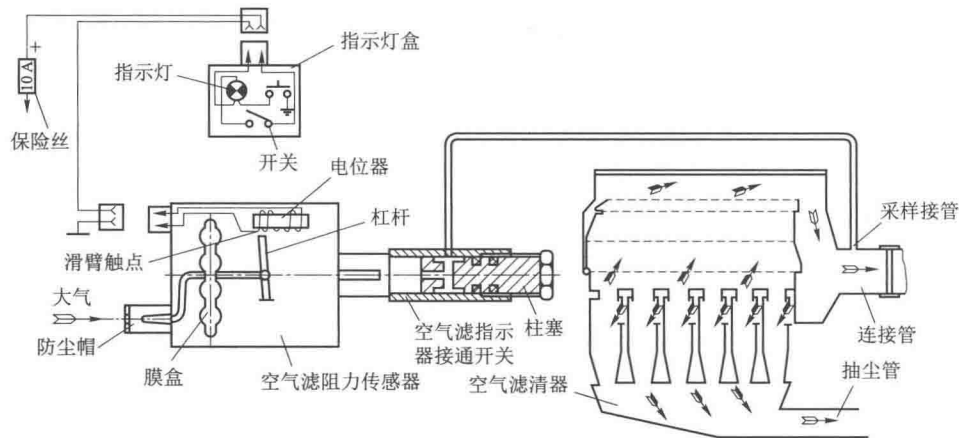


图 13-2-4 空气滤清器阻力报警装置工作原理

五、前灯

前灯（图 13-2-5）安装在车首上装甲板两侧，供坦克夜间行驶之用。

前灯采用了双灯丝灯泡，“大光”强度为 28 V 80 W，“小光”强度为 28 V 35 W。在保持良好的路面照明前提下，双灯丝灯泡可避免车辆前灯的强光使迎面来的驾驶员目眩。灯光的转换由驾驶室配电盒上的“前灯开关”控制。

六、转弯灯及其控制盒

我国某主战坦克在左、右前灯和左、右尾灯的外侧装有左、右转弯灯，其闪光信号由安装在驾驶室前面甲板上的转弯灯控制盒控制。

转弯灯由灯体、灯座、灯罩、灯泡、绝缘胶套、塑料管和导线组成（图 13-2-6）。转弯灯控制盒采用晶体管振荡线路为转弯指示灯的光信号源。

七、制动灯及其控制开关

在车尾两侧及驾驶员左仪表板上装有制动指示灯，用以提示后面的车辆，它由复合插座、导线、灯体、灯座、灯罩、灯泡等组成（图 13-2-7）。当驾驶员踏动制动踏板时，制动灯亮。

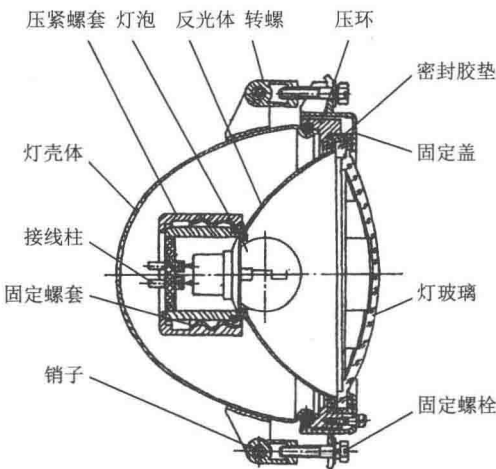


图 13-2-5 前灯

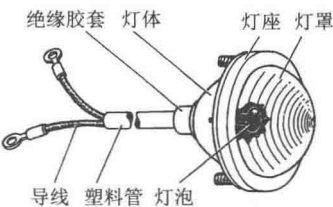


图 13-2-6 转弯灯

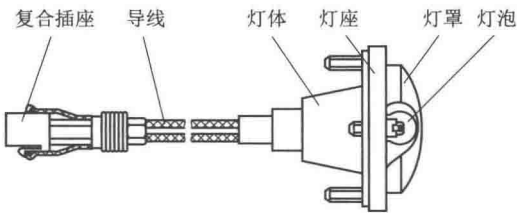


图 13-2-7 制动灯

制动灯控制开关是一行程开关，固定在驾驶室前下方车体左侧甲板处，通过制动踏板附座压下和松开行程开关触点可控制制动灯的接通或断开。

八、号码灯

号码灯（图 13-2-8）又称编码灯，安装在炮塔外部左后侧，由炮塔内部后方的 22K-1 按钮开关控制。号码灯的作用是在夜间显示车辆编号，同时可以代替标高灯使用；指挥员也可以按照约定进行编号，作为指挥战斗的专用标志、代号或灯光信号。

每只号码灯用钢板制成 0、2、3、4、5、6、7、8、9 等八个号牌（9 与 6 合为一个号牌）。工作时仅显示两位数字，因此可组合成 88 个不同的编码。

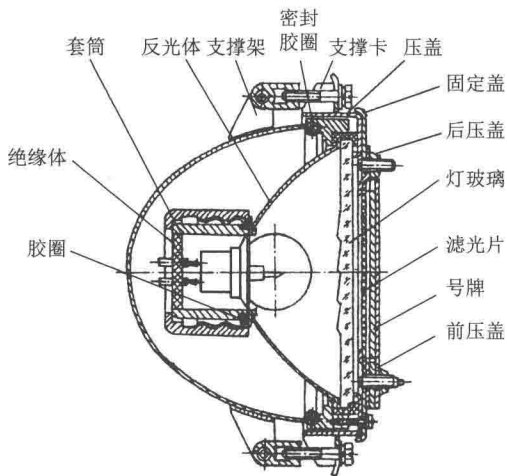


图 13-2-8 号码灯

九、电警报器

我国某主战坦克装有两个振动式电警报器：一个装在车内，当车内发生火灾、发动机机油压力失压时，自动发出报警音响信号；另一个装在坦克外部，由驾驶员配电盒上的按钮开关来控制，可对外发出音响信号。

第三节 辅助电气装置

专门用来接通、切断电气回路，以及作为其他功用的电气装置称为辅助电气装置，其本身不产生也不消耗电能，具体包括：

- ① 用来连通旋转的炮塔与固定的车体之间电路的电路旋转连接器；
- ② 用来接通或切断电路的各种开关和按钮；
- ③ 各种配电盒或开关板；
- ④ 各种密封接线盒、接线柱；
- ⑤ 各种插接件。

一、电路旋转连接器

电路旋转连接器用来连通旋转的炮塔与固定的车体之间的电路，其结构特点是采用层叠电刷片和导电环的传递方式，能满足大功率、多支路的要求；与外部连线采用密封插头座，具有防水密封性能。

该型电路旋转连接器由旋转部分和静止部分组成（图 13-3-1）。

旋转部分位于上部，上盖板、上密封垫、圆铁垫、轴承上挡环、轴承下挡环、拨动端盖与上壳体用螺钉固定。拨动端盖上面的主回路上主导电片，其圆环部分用花螺母与锁紧垫固定在主回路导电拨叉上。Y 形拨叉柱底部固定着炮塔指示电路的绝缘板、固定板及电刷。

静止部分位于下部，包括固定在下壳体上的下密封衬垫、下盖与连接支路组合体。连接

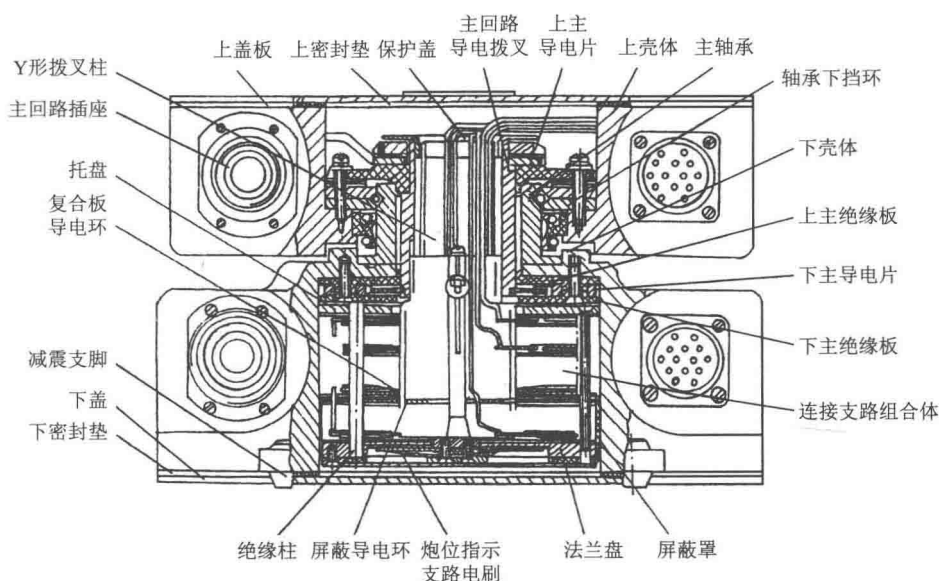


图 13-3-1 电路旋转连接器

支路组合体通过法兰盘固定在上托盘中，最后用螺钉固定在下壳体上；下壳体则通过螺栓固定在旋转底板的底座上。

电路旋转连接器通过一个导电元件对另一个导电元件的多点接触来实现两个相对旋转导电元件之间的导通。

炮塔旋转时，顺序带动电路旋转连接器上的壳体、主回路导电拨叉、Y形拨叉柱、内活动导电环，使其相对于六方电刷片旋转。电能或电信号由下壳体插座顺序通过导电片、导电焊接片、六方导电片，再通过滑动接触传给内活动导电环，接入上壳体插座，从而实现电能与电信号由静止部分（车体）向旋转部分（炮塔）的传送（图 13-3-2）。

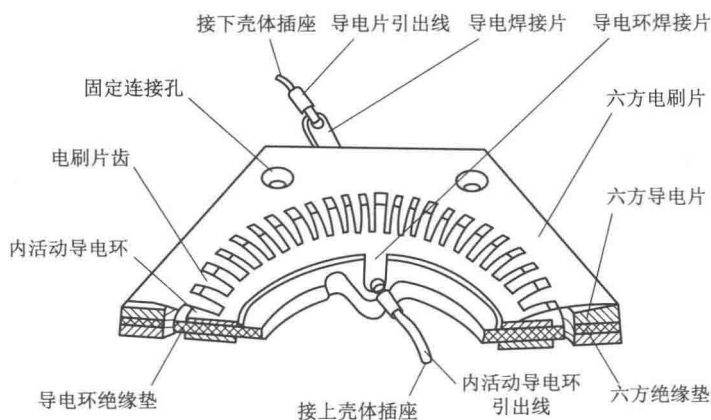


图 13-3-2 电路旋转连接器

二、驾驶窗口闭锁开关盒

驾驶窗口闭锁开关盒（图 13-3-3）是坦克驾驶员的安全保护装置。当驾驶窗口未关闭时，炮长或车长不能接通或使用炮塔电传动装置来转动炮塔。驾驶窗口闭锁开关盒装在驾驶窗口转轴上，只有当驾驶窗口关闭后，闭锁开关才能接通水平稳定器和炮塔电传动电路，进入半自动或自动工况。

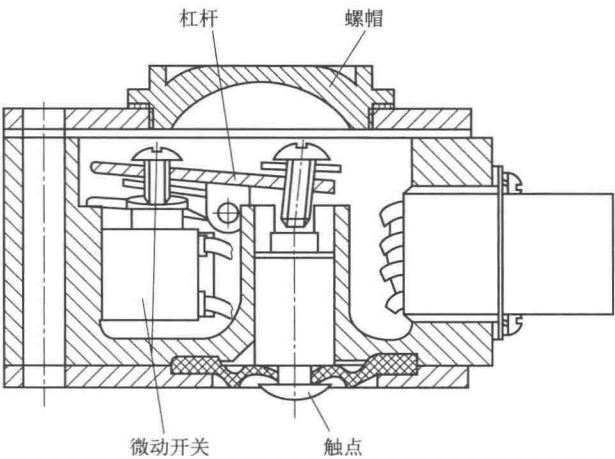


图 13-3-3 驾驶窗口闭锁开关盒

三、LLA4 按钮

LLA4 按钮的作用是接通和断开启动电动机弱电路和机油泵电路，其结构如图 13-3-4 所示。

未操作时，活动接触点与固定接触点因回位弹簧力作用而保持分离状态，此时电路不通；按下按钮时，推杆带动长方框架和拨叉移动，弹簧被压缩，拨叉拨动活动框架转动，接触点结合弹簧伸张，使活动接触点迅速与固定接触点接触，从而接通电路；松开按钮时，在回位弹簧的作用下，各零件回到原位，活动接触点与固定接触点分离，从而切断电路。

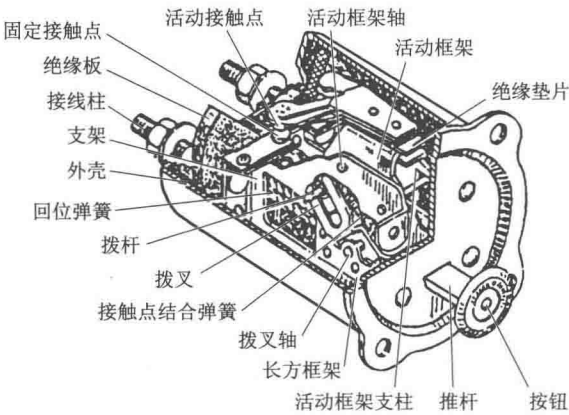


图 13-3-4 LLA4 按钮

四、自动保持开关

当车辆的电网或用电设备发生短路或过载时，自动保护开关（图 13-3-5）将相应的用电设备电路自动与电网断开，以保护电源、用电设备和电网免遭损坏。

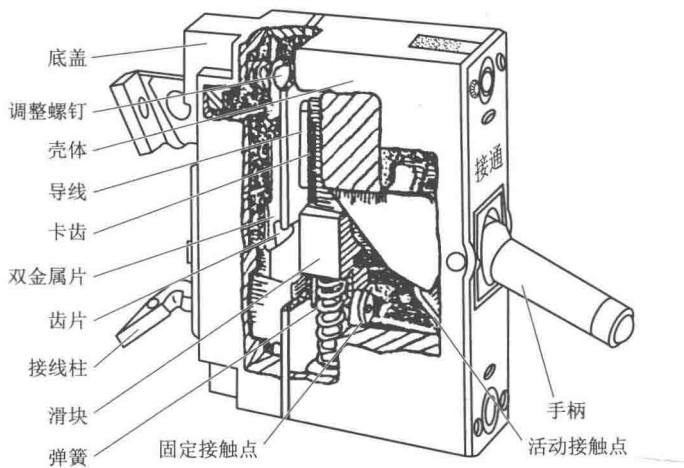


图 13-3-5 电动保护开关

某型主战坦克共有自动保护开关 43 个、车长配电盒 10 个、驾驶室配电盒 23 个、炮长配电盒 10 个，它们在线路中起着保险、控制开关或两者兼有的功能。

第四节 检测仪表

坦克装甲车辆上用来指示和检查操纵装置、发动机系统和电气设备的工作情况的仪表称为检测仪表，主要有车速里程表、发动机摩托小时表、油压表、温度表、电流电压荷电状态表及一些报警显示等。现代坦克装甲车辆有的已经采用显示终端，在一块显示屏上显示所有的仪表工作情况。

一、转速摩托小时表

某主战坦克转速摩托小时表用于测量发动机转速和发动机总摩托小时及负载摩托小时，其中负载摩托小时的控制信号取自车速里程传感器。该仪表安装在驾驶员左侧主仪表板上，由 GS224 转速摩托小时指示器和 CZ-HE-11 型转速摩托小时传感器组成。

该表指针刻度盘用来显示发动机转速，刻度盘下方的数码轮用来累计发动机总摩托小时；上方的数码轮在车辆行驶时开始计时，用于累计发动机的负载摩托小时。指示器、传感器的外形如图 13-4-1 和图 13-4-2 所示。仪表指示器表盘发光照明电源由内附逆变器提供。

二、车速里程表

车速里程表由车速里程指示器、归零里程表和车速里程传感器三部分组成，可测量车辆行驶速度、累计车辆行驶里程，归零里程表可以累计本次行驶里程，如图 13-4-3~图 13-4-5 所示。

车速里程表采用动磁结构，具有较强的抗振抗冲击性能。

三、油压表

油压表用来测量发动机机油压力，并具有低压报警功能。某型主战坦克 1.5 MPa 油压表

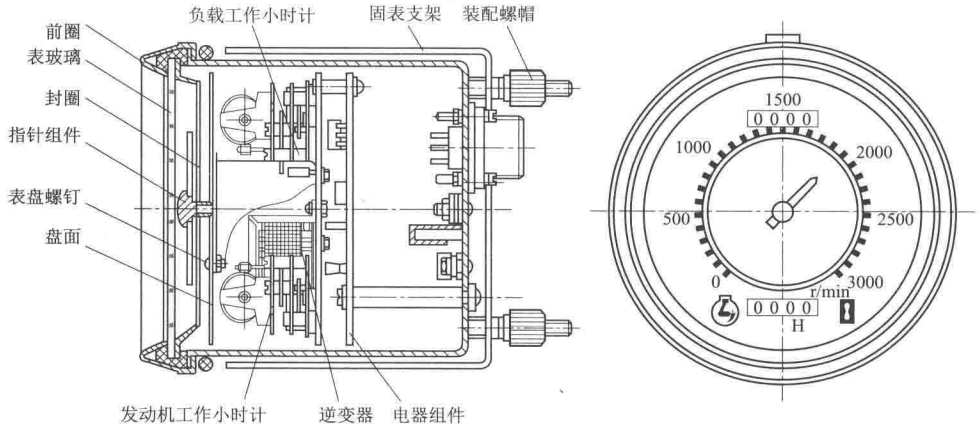


图 13-4-1 指示器

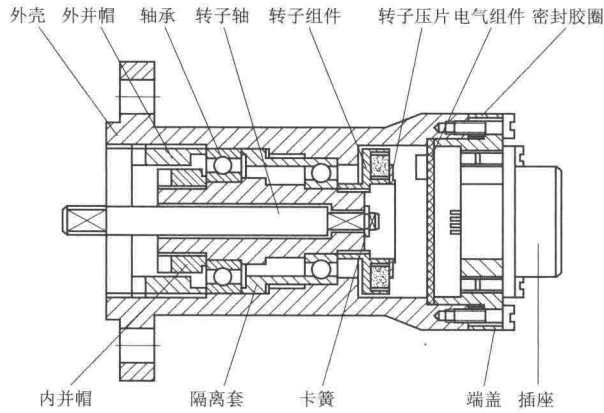


图 13-4-2 转速传感器

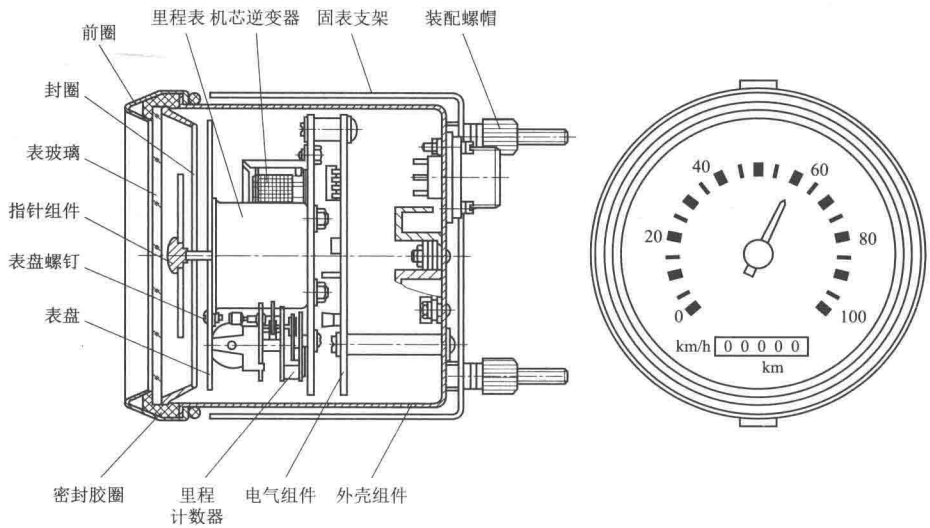


图 13-4-3 车速里程表

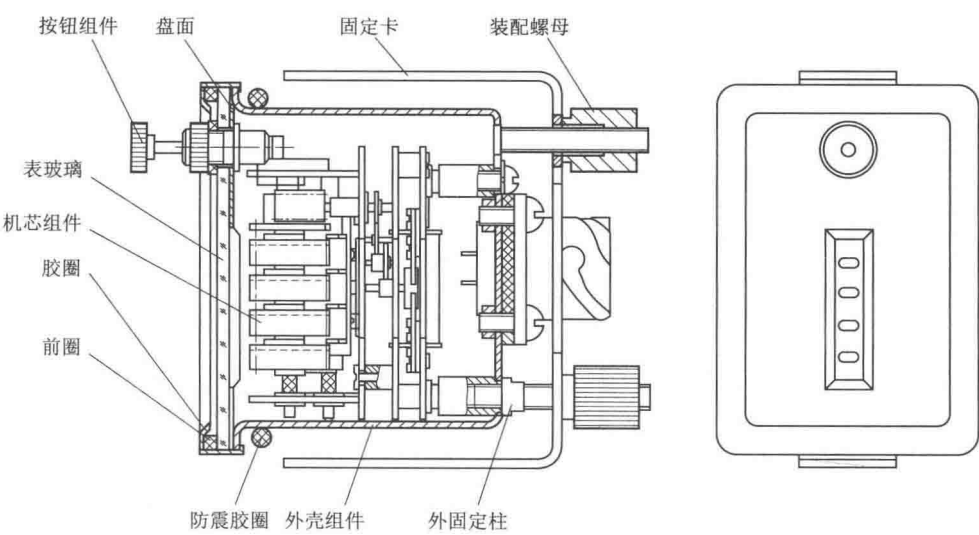


图 13-4-4 本次里程指示表

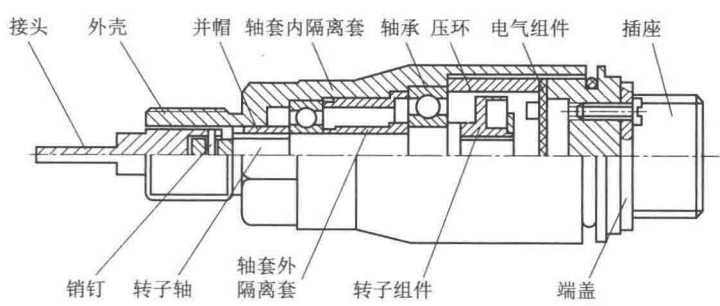


图 13-4-5 车速里程传感器

由压力指示器和压力传感器组成（图 13-4-6、图 13-4-7）。报警灯位于指示器内，正常情况下油压应大于 0.5 MPa，当油压低于 0.35 MPa 时，指示器表盘下方的红色报警灯亮，驾驶员应停车检查。

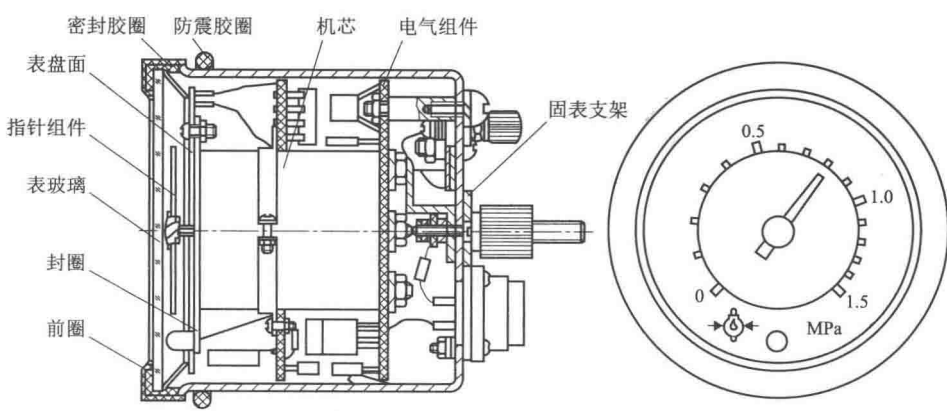


图 13-4-6 压力指示器

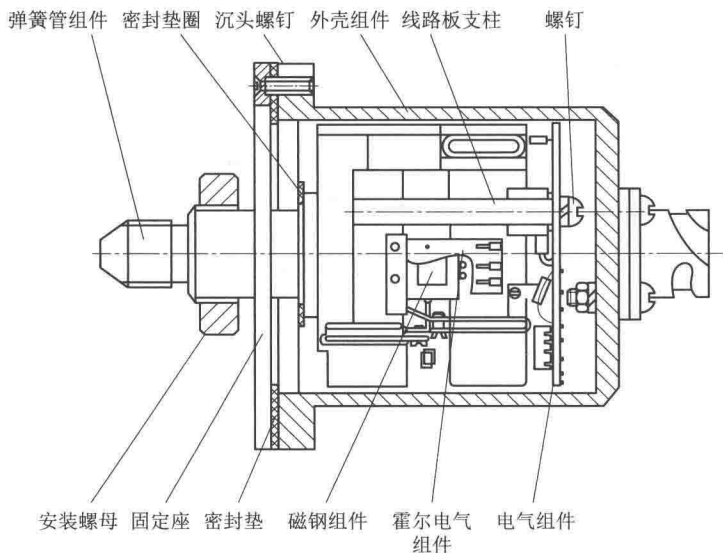


图 13-4-7 压力传感器

四、温度表

温度表用于测量水温、油温，并且具有超限报警功能。某型主战坦克温度表由温度指示器（图 13-4-8）和温度传感器（图 13-4-9）组成，报警灯位于指示器内，照明电源由独立的逆变器提供。正常水温、油温为 $50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当水温超过 $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或油温超过 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，红色报警灯亮，驾驶员应立即采取降温措施。

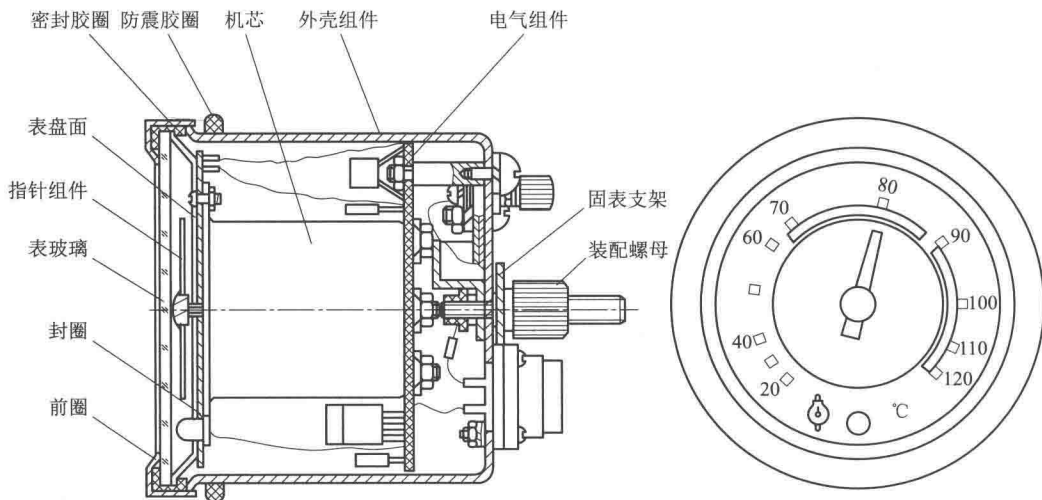


图 13-4-8 温度指示器

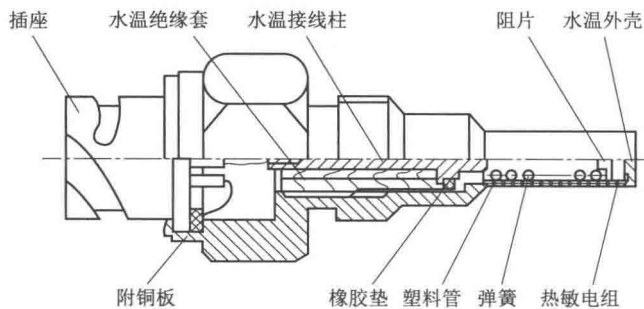


图 13-4-9 温度传感器

五、逆变器

逆变器将 $(26 \pm 4)V$ 的电压转变成 800 Hz、110 V 的电压后输出，给除车速里程指示器和转速摩托小时计外的所有指示器的内照明装置提供电源。逆变器安装在驾驶员右仪表板上，构造如图 13-4-10 所示。

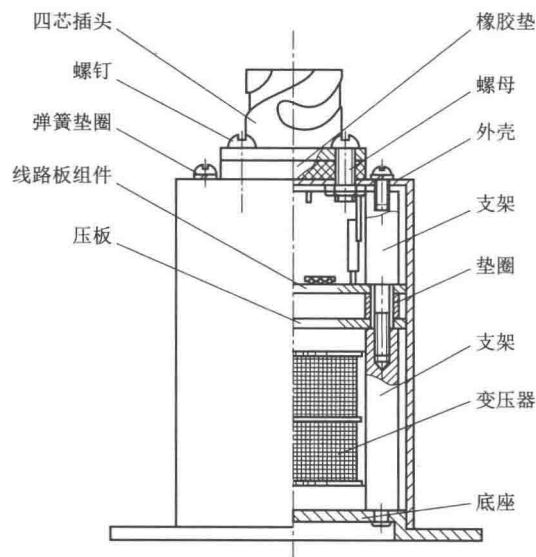


图 13-4-10 逆变器

第十四章

通信系统

坦克装甲车辆通信系统主要完成车辆与车辆、车辆与地面及车内乘员间的通信功能，主要包括无线电台、车内通话器及信号枪、信号旗等。

某型主战坦克通信系统主要由 VRC-8000 型电台、SEC-8088 保密单元、CPA-9088 跳频单元、CYY-173 车内通话器、数据适配器、数据终端及加载器等部分组成。系统的连接如图 14-0-1 所示。

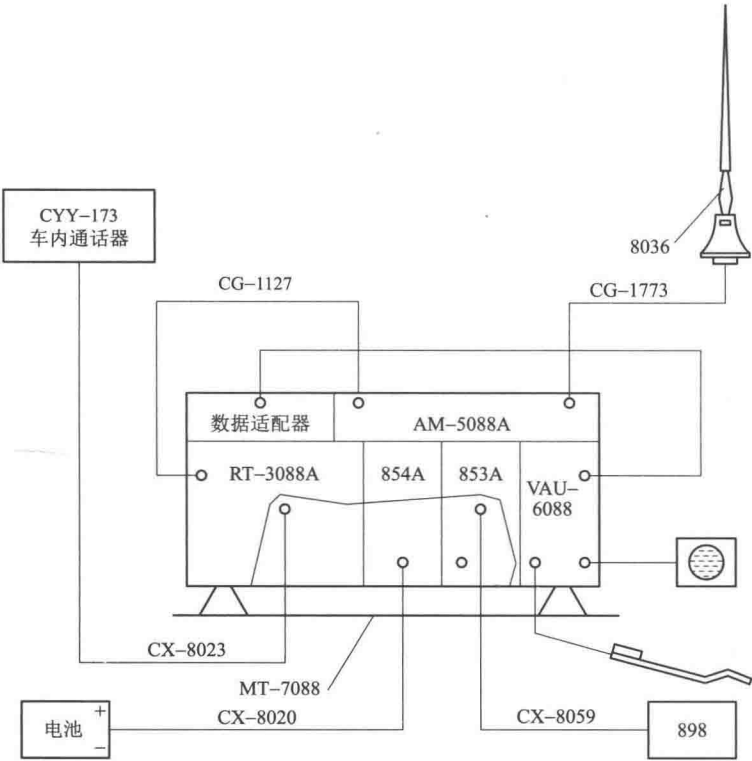


图 14-0-1 通信系统组成示意图

该型通信系统的特点如下：

① 具有频段宽、波道多和较好的同车多机工作能力。

VRC-8000 型电台可预置 10 个信道，满足多网同时工作的频率分配要求；具有较好的

同车多机工作能力，可建立多个方向的无线电通信联络。

② 具有系列化、通用化和适应能力强、应用范围广的特点。

该型号通信系统可组合成多种不同工作方式，满足对功率等级、携带装载方式等不同使用场合的要求，增强了系统灵活性。

③ 具有一定的数据传输能力。

该系统中各电台还可以配接多种数字式终端设备，实现数据、文电和战场态势图等野战数据信息网。

④ 具有高度的保密性和电子反干扰能力。

一、VRC-8000 电台

VRC-8000 电台是一种车载甚高频、调频式战术电台，可实现信道预置、自测、自动调谐、遥控、自动转信等功能控制，并具有良好的电磁兼容性和同车多机工作能力。

电台采用调频和数据调频，频率范围为 30~87.975 MHz，波道数有 2 320 个，频率精确度为±500 Hz，工作方式值班收听、单工收发、转信、遥控、轻声通信和数据通信，通信距离（中等起伏地）为大功率 35 km、中功率 15~20 km、小功率 8~10 km。

VRC-8000 电台主要由收发信机单元、车载音频单元、50 W 功率放大器、机架、天线系统、手机、遥控盒、遥控电源、扬声器及电缆等组成。

（一）RT-3088 收发信机

RT-3088 单元面板如图 14-0-2 所示，其功能如下：

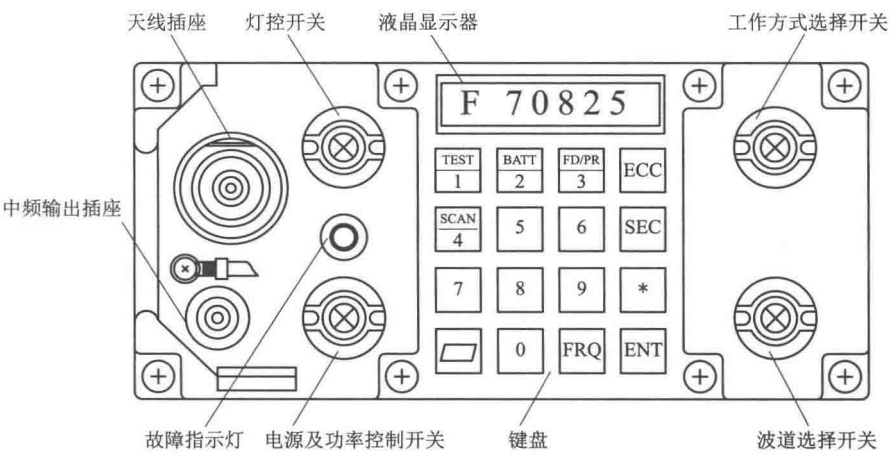


图 14-0-2 发信机 RT-3088 面板示意图

① 天线插座可以通过射频电缆 CG-1127 将收发信机与射频功率放大器 AM-5088 连接起来，输出射频功率；也可直接与天线射频电缆 CG-1773 连接。

② 中频输出插座输出中频信号，供修理或测量电台之用。

③ 照明及指示灯控制开关用于控制显示器的照明灯和各单元面板上的指示灯，它有断开、正常、接通三个位置。

④ 电源功率开关控制电台的输出功率和直流电源的通或断，有断开、收信、小功率、

中功率、大功率、遥控六个位置。

⑤ 显示器可以显示电台的工作方式和工作参数，其显示内容受键盘控制。

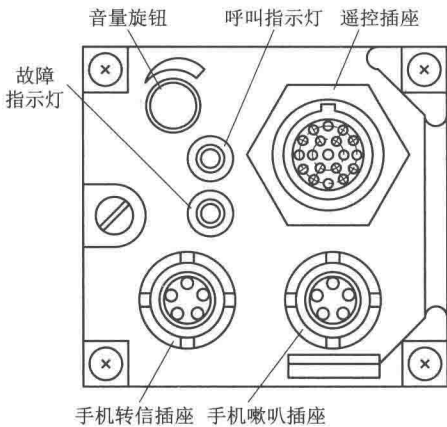


图 14-0-3 车载式音频单元
VAU-6088 面板示意图

⑥ 键盘共有十六个键，用以手动控制电台、跳频单元 CPA-9088 及保密单元 SEC-8088 的输出等。

工作方式选择开关分转信、静噪断、静噪通、轻声四个选择。

信道选择开关用于选择射频信道，共有 11 挡位：M 信道被规定为任选信道，平常可以在此位置上根据需要更换工作频率；1~10 信道可以预置 10 个信道频率。当开关扳至任一位时，电台立即自动调到该信道频率。

(二) VAU-6088 车载音频单元

车载音频单元 VAU-6088 外部机件名称如图 14-0-3 所示，主要由音量旋钮、呼叫指示灯、故障指示灯、音频转信插座、手机喇叭插座、遥控插座等组成。

(三) AM-5088 射频功率放大器

射频功率放大器 AM-5088 面板如图 14-0-4 所示，上面的输入插座用来通过射频电缆与收发信机的天线插座相连，以输入射频信号；无线插座用来通过射频天线电缆连接天线，以输出射频功率。

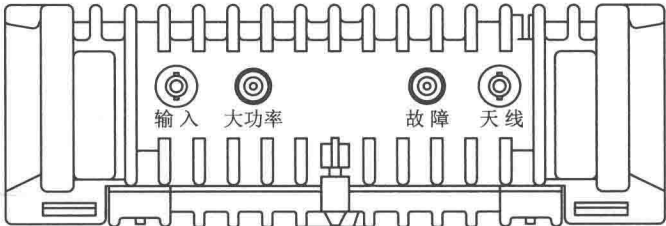


图 14-0-4 射频功放 AM-5088 面板图

(四) MT-7088 机架

机架 MT-7088 上有过载保护开关、车通/遥控插座、电源输入插座、电源输出插座。

(五) C-898 型遥控盒

遥控盒 C-898 上面有用于遥控电台的小、中、大三挡输出功率的功率开关，用于遥控电台的 10 个预置信道的信道选择开关及控制指示灯、遥控插座和记事板。

二、SEC-8088 保密单元

保密单元面板如图 14-0-5 所示，其中方式选择开关可在密语、明语、加注、存放四种工作方式间切换。

SEC-8088 保密单元是一种数字式话音加密/解密装置,它采用消息保密技术,对原始信息进行数字加密处理。在通信过程中,保密单元可工作在明语或密语两种方式;也可以与 CPA-9088 跳频连用,组成跳频加密通信方式。

SEC-8088 保密单元采取半双工、PTT 控制的操作系统,以及连续可变斜率增量(CVSD)的话音调制,有明语、密语、密匙加注、存放抹除等四种工作方式。

SEC-8088 保密单元由 3A1 微处理器单元(MC)、3A2 控制单元(CONT)、3A3 接口单元(INFC)、3A4 音频单元(AU)四块单元模件和独立开关电源、一块母板、一个锂电池、面板及机壳组成。

3A1 微处理器单元(MC)用来产生各种控制保密单元的控制信号,由微处理器、ROM、RAM、微处理控制器(CC)和中断控制组成。

3A2 控制单元(CONT)提供整机工作的定时信号及同步信号处理。

3A3 接口单元(INFC)用来处理保密单元与电台之间的状态,同时,该单元使保密单元内部时钟与数据单元时钟进行位同步。

3A4 音频单元(AU)用来进行信号的模-数或数-模转换,还可对发送信号进行加密,以及对加密后的信号进行检查和监视。

三、CPA-9088 跳频单元

CPA-9088 跳频单元是一种战术语言通信用、采用全同步跳频系统的载波保护装置,可进行模拟通信,也可进行数字通信。在数字通信时,能在全频段范围内采用正交跳频方式,按照一个长而复杂的伪随机的序列进行跳频工作。如需保密通信,还可以把 CPA-9088 与 SEC-8088 接入电台系统中。

CPA-9088 跳频单元采用半双工、PTT 控制操作系统,以及连续可变斜率的话音调制,存在 ECC 的通、断、加注、存放四种工作方式,跳频率为 19.5 跳/s。

CPA-9088 跳频单元主要由同步单元、接口单元、微机单元、基带单元、接口单元这五个单元模件和一个独立开关电源、一组锂电池、面板及机壳等组成。

同步单元(2A1)可译出同步数据并提供同步的定时信号,数据译码同时被送往微机单元。

接口单元(2A2)可使电台获得跳频单元的面板功能,也可以通过电台键盘显示器来检测跳频单元的工作状态。

微机单元(2A3)由 1802 型低功耗微处理器产生各种信号来控制跳频单元工作。

基带单元(2A4)的作用是在跳频单元与 PRC-80 或 VRC-8000 电台连用时,使来自电台的信号通过跳频单元中的基带单元处理后,再返回上述两种电台以完成跳频信号的处理。

接口单元(2A5)可使电台获得 CPA-9088 的面板状态,同时通过电台的键盘显示器检

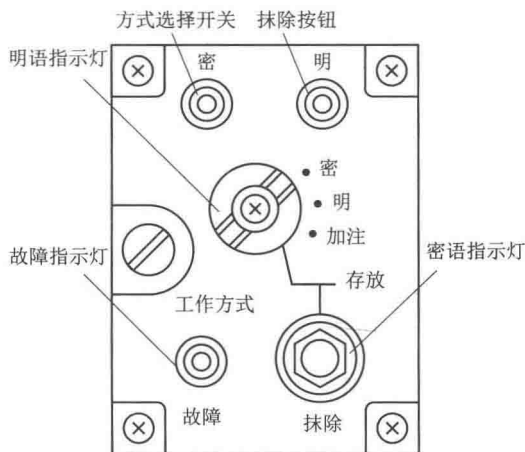


图 14-0-5 保密单元面板图

测 CPA-9088 的工作状态。

CPA-9088 跳频单元跳频单元面板如图 14-0-6 所示，其工作方式开关有 ECC 通、ECC 断、加注、存放四个位置。

四、CYY-173 车内通话器

CYY-173 车内通话器是供装甲车辆内部乘员使用的车载式通信设备，其主要功能有：

- ① 进行车内通话；
- ② 使用电台进行无线通信；
- ③ 在车辆慢行或停止时，车内外人员可通过灯光信号相互呼叫，进行双工通话，车外人员也可使用车内电台；
- ④ 可使远距离的两部电台经由车内两部电台进行自动转信。

CYY-173 车内通话器由一号中心控制盒、乘员控制盒（3 个二号盒、1 个三号盒、1 个四号盒连手机）、五号转信控制盒及坦克帽、胸前开关、成套电缆等组成（图 14-0-7）。

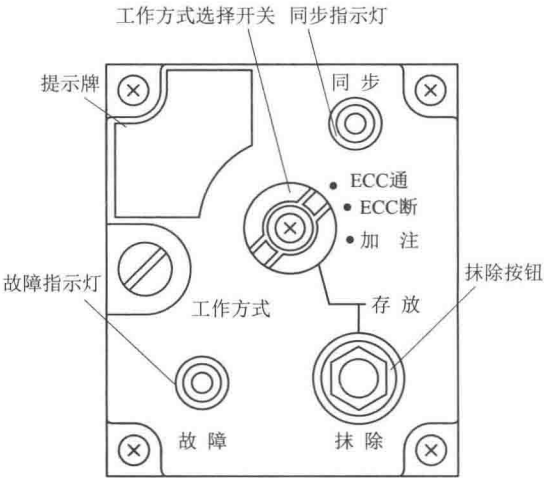


图 14-0-6 跳频单元面板图

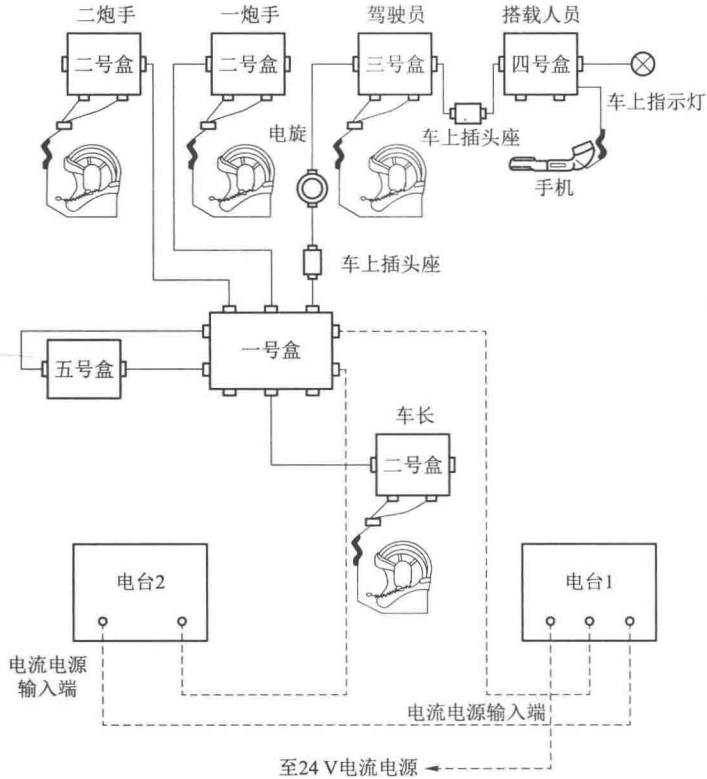


图 14-0-7 车内通话器和电台连接示意图

一号中心控制盒（图 14-0-8）是车内通话器的主要部分，用于放大乘员话音信号和电台收发信机监听放大器的输出信号。

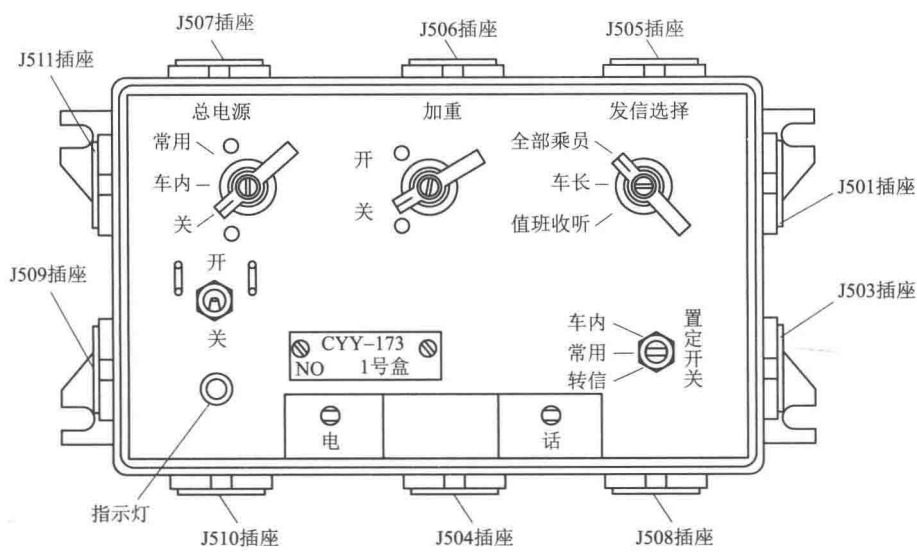


图 14-0-8 一号中心控制盒面板图

二号盒（图 14-0-9）共三个，分别供车长、炮长、二炮手使用。三号盒专供驾驶员使用。他们可以进行车内通话，也可以利用电台通话。三号盒同时还控制着搭载人员使用电台及进行车内通话的时机。

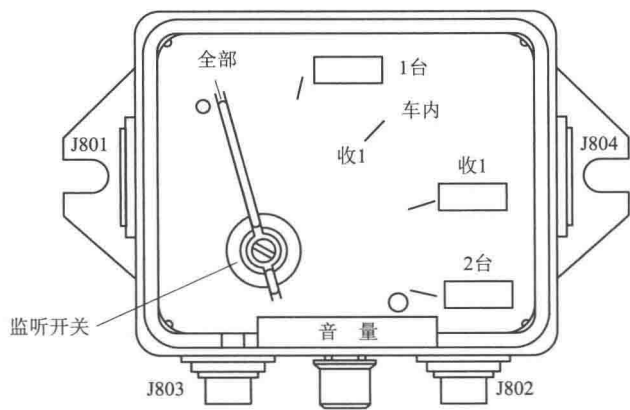


图 14-0-9 二号盒

四号盒供搭载人员通过三号盒进行车内通话或使用电台通信。在使用四号盒通话时，必须将三号盒上的“信号-外部-关”开关扳至“外部”位置。

五号盒通过车内安装的两部转信台，可为车外两部远距离的通信台自动转信。

第十五章

综合电子系统

随着信息技术的高速发展,以信息战为核心的新军事变革在全球范围内悄然兴起。未来作战系统将是信息系统为核心,综合集成各类武器平台及诸军兵种联合构成的网络化作战系统。因此,军用车辆已不再是未来军事战争中的一个孤立节点,而是网络化作战系统中一个极为重要的武器平台。为此,军用车辆综合电子系统的概念应运而生。

装甲车辆综合电子系统是以数据总线为核心,利用计算机控制、分布式系统管理、数字通信和总线等技术,把武器系统、推进系统、防护系统及定位导航、电子对抗、战场管理等系统信息有机联系在一起的车辆电子系统。

综合电子系统是采用统一的标准软件,与友邻车辆、上级指挥机关和其他武器平台之间进行战场信息的互通互连,实现信息共享,将目标探测、火力控制、作战指挥、战场机动、综合防护和故障诊断等统一成一体化的作战系统,又称为指挥控制系统。

一、综合电子系统的发展

(一) 美国

早在1975年,美军装甲司令部借用民用电讯业的多路传输技术和航空电子学的成功经验,在美国坦克机动车辆司令部主持下,开始以MCO坦克为样车研制“电源管理、检测和分配系统的先进技术(ATEPS)”车载电子系统。1982年,ATEPS装备于部分M1坦克。AIEPS建立了充分利用多路传输、数据处理和综合控制、综合显示技术进行坦克系统设计的概念,这是车辆电子学的开端。

1982年,美国陆军提出“战斗管理系统”的概念,即将车辆电子学技术延伸到战场,替代战场上那些重复性的、耗时的人工作业,全面提高指挥控制、侦察、火力分配能力。这就是车际信息系统的雏形。

20世纪80年代末,美国陆军提出标准陆军车辆电子设备体系结构(SAVA)和为M1A2研制车辆电子设备的计划。

1. 标准陆军车辆电子系统体系结构(SAVA)

1988年9月,美国陆军提出了标准陆军车辆电子系统体系结构(SAVA)和为M1A2研制车辆电子设备的计划,旨在解决各武器平台和战术网络之间通信和信息交换方面存在的问题,实现未来战场上陆军战车的全系统综合。综合后所产生的车辆电气/电子系统体系结构能够提供一种高度模块化的框架方案,使未来战车实现有效的综合并具有高度的灵活性。SAVA由数据传输/控制/分配分系统、乘员控制与显示分系统、计算机资源分系统、电源管

理分系统 4 个分系统组成。SAVA 体系结构中, 高速数据总线用于坦克各电子系统之间的数据传输/控制/分配, 多通道视频总线将视频信号分别传输到各乘员显示装置, 公用总线用于电源/功率管理分配与遥控, 双冗余高速环形总线用于在传感器、控制面板、显示器、传动机构和执行机构之间的数据传输。SAVA 具有很强的综合处理能力, 并且能够适应技术的更新而进行非常灵活的功能扩展 (图 15-0-1)。

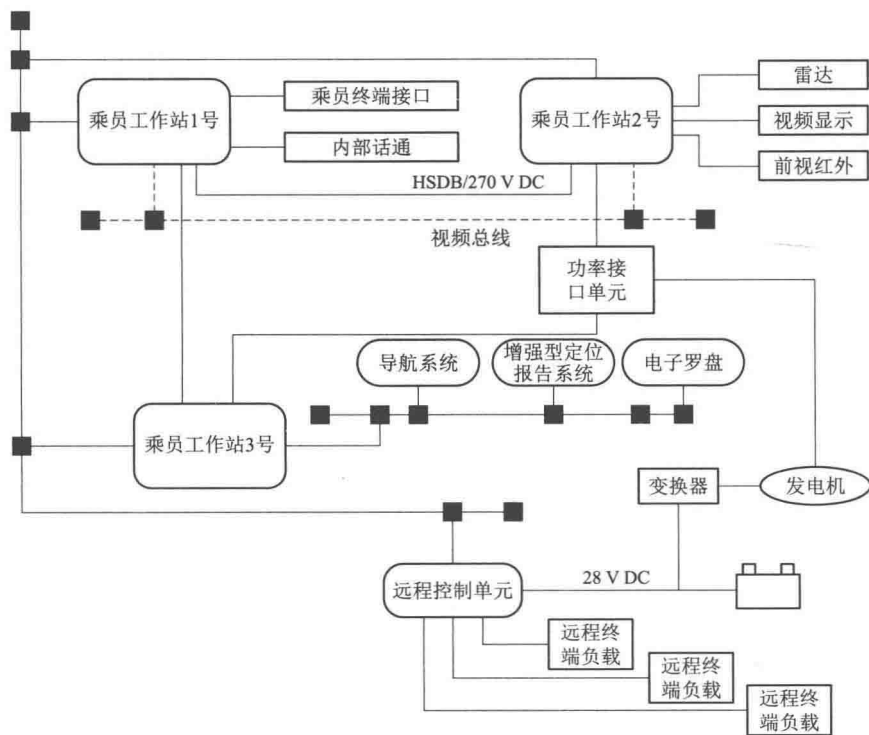


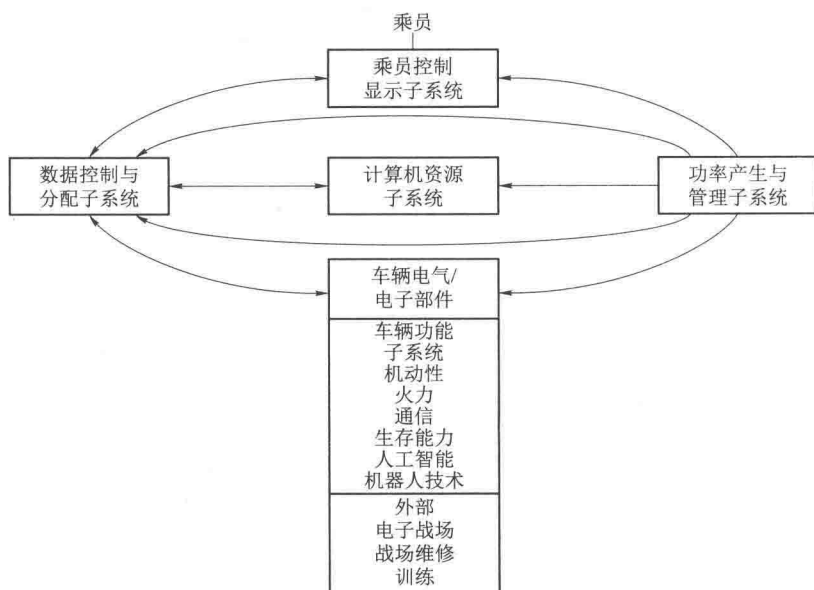
图 15-0-1 SAVA 体系结构框图

在 SAVA 基础上, 美军从 1996 年开始研制地面战斗车辆电子开放体系结构 (VOSA)。该系统可使坦克装甲车辆的战场平台容纳多个功能较强的微处理器和多条高速数据总线, 不仅适用于下一代战车, 还可对现役车辆进行有效的改造。由于 VOSA 采用标准化的硬软件模块和系统接口, 设计者可以方便地使用最新的、性能最好的计算机系统和电子器件, 以确保新研制的系统处于领先地位。另外, 采用开放式的体系结构, 更利于功能扩展和重组、故障检测和隔离。

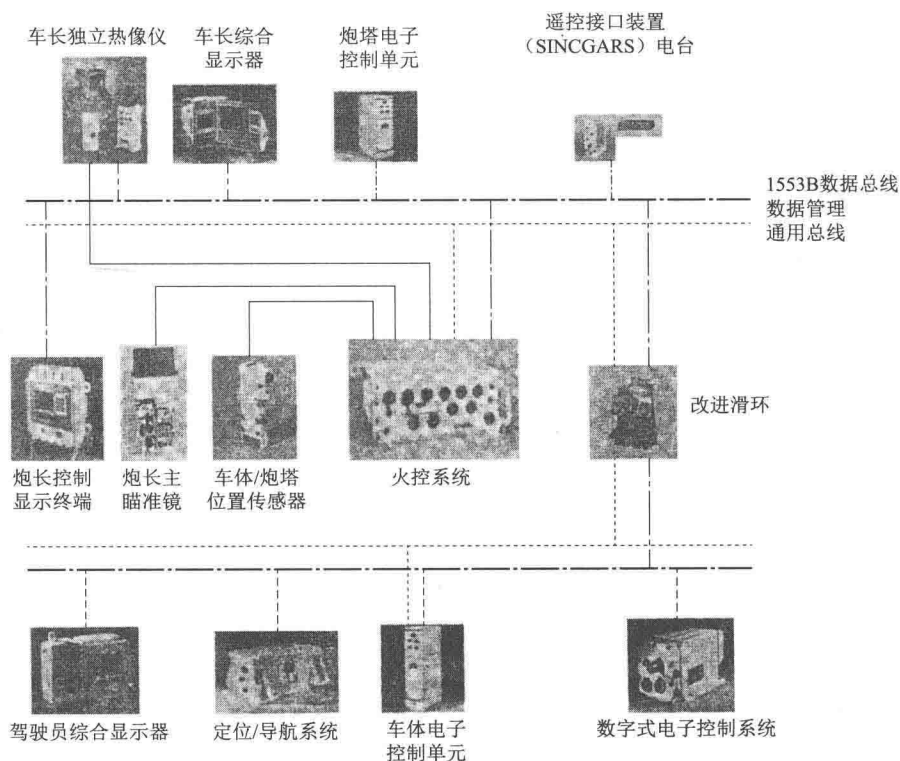
VOSA 中车辆电子子系统包括计算机资源子系统、功率生成与管理子系统、数据控制与分配子系统、乘员控制显示子系统, 以及包括机动性、火力、通信、生存、人工智能等在内的车辆功能子系统 (图 15-0-2)。

2. M1A1 坦克电子综合化发展概况

M1A2 上综合电子系统的结构如图 15-0-3 所示。M1A2 坦克上 90% 的电子设备实现了数字化, 这些先进的电子设备包括: 车长独立热像仪、车长综合显示器、炮长控制显示终端、炮长主瞄准镜、驾驶员综合显示器、车体电子控制单元、炮塔电子控制单元、车体/炮塔位置传感器、发动机数字式电子控制系统、电源管理系统、电台接口单元、目标识别系



统、定位/导航系统、火控系统、车际信息系统等。这些电子设备通过军用标准 1553B 数据总线 and 电源控制管理的 MIC 总线连接起来。M1A2 中车体电子系统和炮塔电子系统互为冗余。



M1A1 通过车长综合显示器、炮长控制与显示面板及驾驶员综合显示装置实现了车内信息的综合显示和良好的人际交互功能。同时, M1A2 坦克也十分重视系统的故障诊断, 许多子系统部件中都有机内测试能力。

美国 M1A2 坦克首次正式采用的车辆综合电子系统是实时指挥控制系统 (IVIS), 也有称为“车际信息系统”(IVIS)。该系统用 MIL-STD-1553B 多路传输数据总线将车辆的主计算机和通信装置与乘员显示控制装置、车长独立热成像瞄准镜、火控系统、发动机数字式电子控制装置、定位/导航等有关电子分系统联成一体, 实现了各分系统信息交换及数据共享, 并用来控制数据传递顺序, 有次序、有选择地向乘员提供系统的工作状况和参数, 还可通过电台将车辆主要信息传送到上级指挥车辆。另外, M1A2 坦克可以借此通过战场互联网, 与同样装备有 IVIS 车际信息系统的侦察直升机、攻击直升机、M2/M3 “布雷德利” 战车等互通作战前和交战中的战斗情报。

实战表明, 采用了 IVIS 系统的 M1A2 坦克作战时进攻能力提高了 54%, 防守能力提高了一倍左右。

1994 年 4 月, 美军通过了 M1A2 坦克“系统改进计划”, 即 M1A2 SEP 坦克。“系统改进计划”重点是改进计算机的核心部分, 以便能采用陆军的指挥控制的软件和操作系统标准, 其最主要的硬件改进包括: 第二代热成像瞄准镜、增强型定位报告电台、全球定位系统、发电/冷却系统、高性能的显示器、战场战斗识别系统及多用途化检测器。

(二) 法国

法国勒克莱尔坦克于 1983 年开始基础设计, 是世界上第一辆全面采用车辆电子学概念设计而成的战斗车辆。勒克莱尔坦克在机动、火力、生存能力、指挥和通信、可维修性等方面都采用了最有效的技术, 其所有电子部件和设备均采用全数字化集成化电子元件, 并通过 GAMT101 多路传输数据总线相互连接而组成一种强大的数字化系统(图 15-0-4)。系统有两台主计算机: 一台用于火控系统, 并兼任总线控制器; 另一台供伺服装置使用的计算机作为备份的总线控制器。全车共采用了 30 个带有 8、16 和 32 位微处理机的计算机单元。

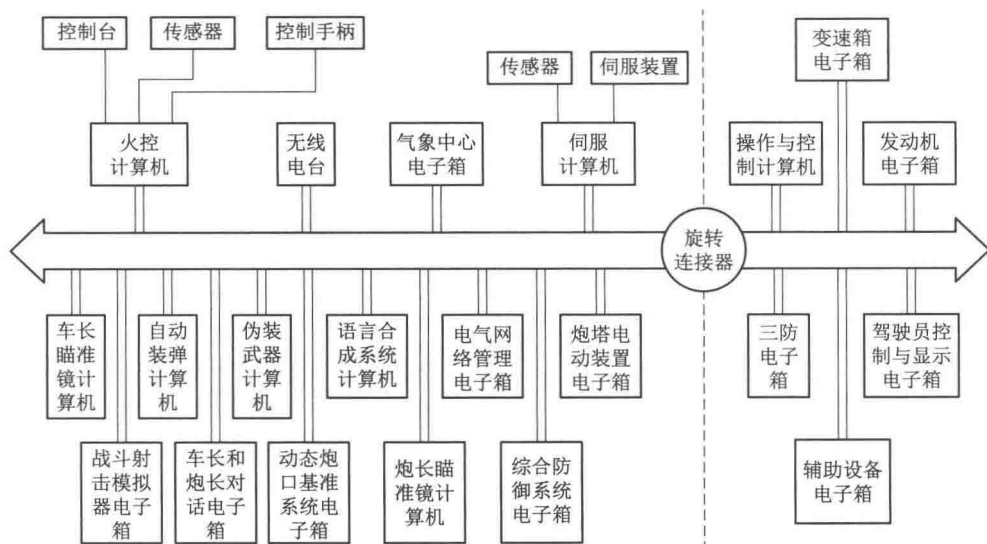


图 15-0-4 勒克莱尔上综合电子系统结构示意图

勒克莱尔坦克采用了地面武器工业集团研制的战斗管理系统,实现了法军装甲部队的数字化通信和指挥。勒克莱尔坦克装有第四代跳频电台、自动信息处理系统、内部通信系统等,可实现乘员与其他车辆的实时通信联络。该系统能够借助资料链与车内各系统的探测器连线,随时监控查询全车火控、动力、通信、防护、电力与导航状况;利用加密无线电资料链与友军战场管理系统连线,传递或接收车辆位置、信息与命令,实现车际间和团级信息系统间的数字化通信和信息交换。

(三) 英国

1987年,英国皇家武器与发展中心(现在的国防研究局)启动了“车辆电子学研究防务倡议(VERDI)计划”,该计划在“武士”战车上设计安装一套超级模块化的车辆电子学设备,制成了一台技术演示用的“跟踪者”(TRACER)侦察样车。VERDI结构有公用设备总线、指挥控制总线、通信总线和视频总线四个主要部分,各个部件通过标准总线相连接,将武器平台、传感平台、乘员显示装置及通信设备结合成一体。5名乘员各配有两个多功能显示终端,并可通过终端进行操纵,传感器获得的信息可借由电台实时地告之后方。后来,英国将车辆综合电子技术应用到“挑战者2”主战坦克上。

1993年,英国皇家武器与发展中心开始第二阶段(VERDI-2)的研究,它将VERDI-1的集中处理、集中控制方式改进成模块化的分布式处理集中控制方式,使系统功能、可维修性及可扩展性加强。

“挑战者2E”是“挑战者2”系列主战坦克的改进型,其中一项重大改进是采用了维克司公司的综合式战场管理系统(BMS),该系统内含美国TRW公司为美国“21世纪作战旅”研制的软件。该套系统可以从GPS全球定位系统或武器系统获取信息,将本车位置、友军及敌方坦克位置信息提供给车长。

(四) 其他国家

德国从20世纪80年代开始开展装甲车辆综合电子系统研究。德国“豹II”坦克综合指挥与武器控制系统(IFIS)包括:定位导航系统、数字式地图、计算机、车长显示器、驾驶员显示器、人机接口和报文处理设备。坦克中装有挂接到数据总线上的模块化指挥控制系统和混合型导航装置(内含GPS终端)等新型电子设备,极大地提高了坦克营和坦克连的情报处理能力。指挥员通过该系统可以分析和判断敌情、向所属战斗车辆分配目标、实施射击,驾驶员通过显示屏了解行军路线等导航信息。瑞典则在IFIS项目中增加了瑞典的营级BMS。

比利时建立了如图15-0-5所示的基于CAN总线技术的新一代火控系统数据总线系统。

俄罗斯T-90坦克也采用了新型的数字化火控系统。

以色列坦克采用了一种称为“战斗车辆综合系统”的综合电子系统,其核心部分是安装于车长位置的双重显示装置:一个显示器读取地图、敌/友位置信息及后勤状态信息,另一个显示器读取静态目标图像,透明图上可显示车载仪器及传感器输入数据,使车长可操纵车辆与武器。车长还可以利用车载电台向上级司令部门或下属车辆传送图像。车长位置与车上其他系统及传感器的连通是通过一套标准化的1553B多路传输数据总线和专用的高速数据总线实现的。

我国从1986年提出并开始进行综合电子系统的研究。我国以国际公认的多路传输数据

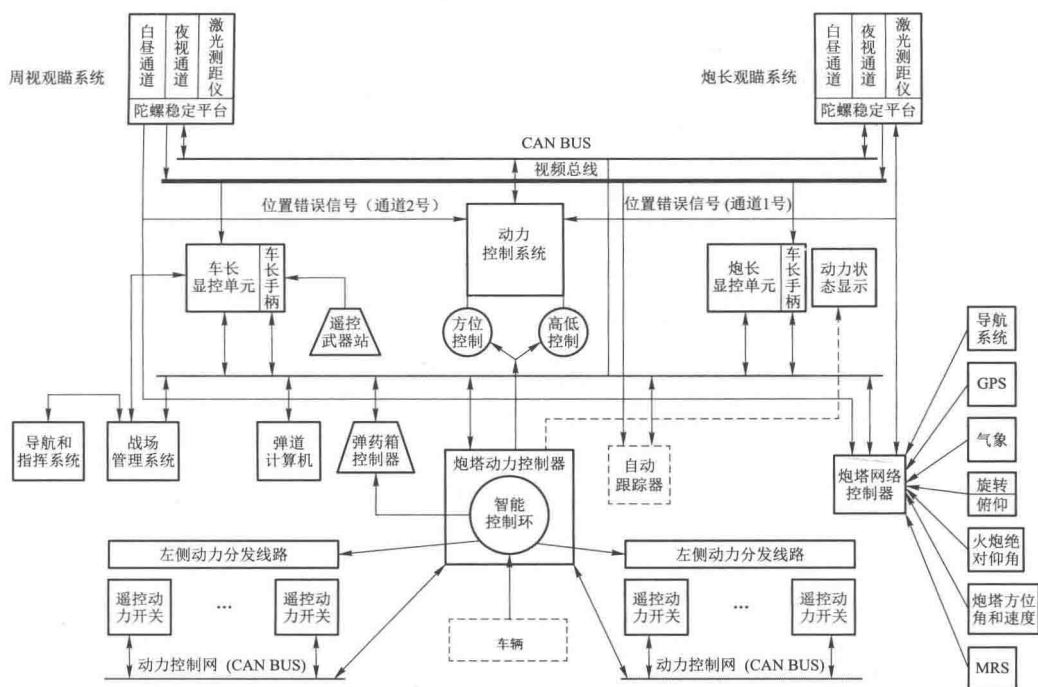


图 15-0-5 比利时基于 CAN 总线的数据总线体系结构

总线标准——美国军用标准 MIL-STD-1553B 为蓝本，制定了军用标准 GJB 289—87，最新修订到 GJB 289A—97。通过近 30 年的努力，中国在信息综合一体化方面投入了很大的人力和物力，并在工程研制、体系结构优化及总线技术研究等方面取得了丰硕的成果。我国最新的坦克装甲车辆大部分采用了综合电子系统。某履带输送车的综合电子系统采用 CAN 总线，系统分为车长任务终端、驾驶员任务终端、动力舱采集控制器、乘员舱采集控制器、综合保障盒和总线系统 6 个部分。同时，综合电子信息系统和驾驶员电气操控装置、通信电台、发动机控制盒、传动控制盒、灭火采集控制盒、激光告警装置、敌我识别系统、IC 读卡器和微压差测量仪等都具有通信接口，共同构成了整车 CAN 总线通信网络。通过车辆指挥控制总线系统完成车辆的指挥、防御、导航等功能的一体化指挥控制，同时，以车际数据传输为途径，实现战场管理及数字化指挥；通过车辆电气控制总线系统完成全车动力、传动、三防、灭火、供配电管理及电气设备的控制。

二、综合电子系统的体系结构与组成

装甲车辆综合电子系统的体系结构根据具体车辆的功能不同而有所区别，但它们都是以最简单的单层总线结构为基础的。图 15-0-6 所示即为一种单总线体系结构示意图。

从结构图中看出，目前的装甲车辆综合电子系统主要由总线网络、指挥控制与显示子系统、定位导航子系统、火控子系统、综合防御子系统、电源分配和管理子系统、车辆动力传动电控子系统、自动装弹子系统、通信子系统和自动诊断子系统组成。

（一）总线网络

总线网络是综合电子系统中微型计算机和其他设备或控制对象之间（即系统之间）互

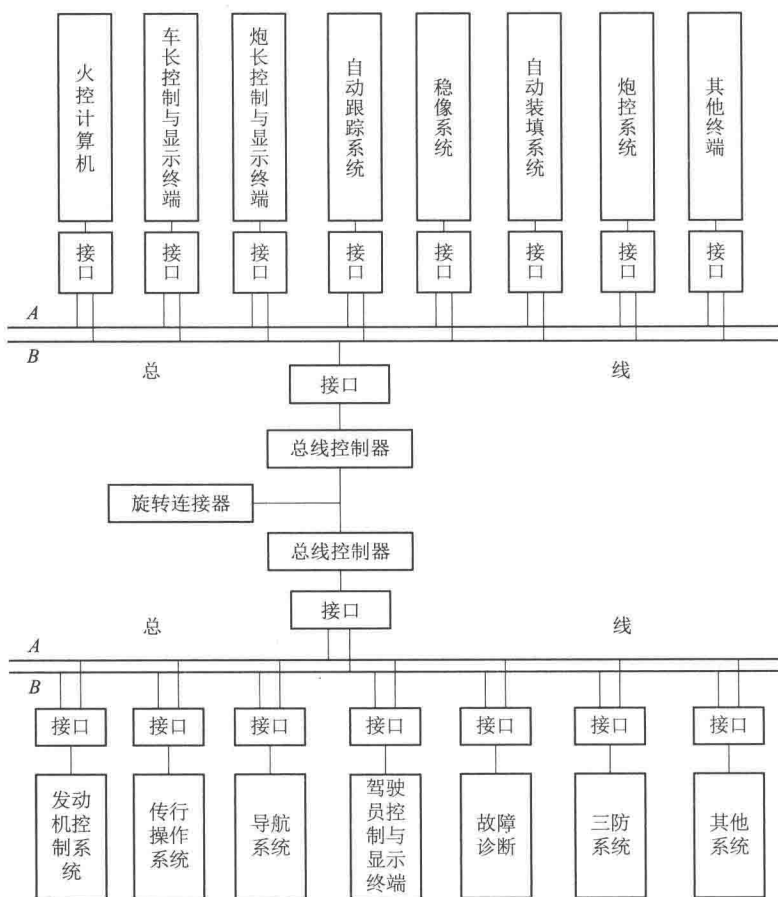


图 15-0-6 装甲车辆综合电子系统结构示意图

相通信的接口总线。

多路传输数据总线类似于高速公路，在装甲车辆综合电子系统中起着纽带和桥梁的作用，它取代传统点对点的数据连接，将各个电子分系统挂载在总线上，形成一个完整的信息网络，既大大简化了布线，又提高了数据管理能力。总线可设计有足够的接口，可为新增电子系统、扩展系统功能留有充分的余地。

目前成熟的军用总线是 MIL-STD-1553B 总线。该总线被广泛应用于航空、舰船和装甲车辆上，车辆上的电源管理普遍采用 MIC 总线。CAN 总线在装甲车辆上也有一定的应用。随着装备上信息量的不断增多，1553B 总线带宽已不能满足要求。新的高速总线技术，如光纤、高速以太网等，也正在被研究用在车辆的信息系统上。

（二）指挥控制与显示子系统

坦克装甲车辆指挥控制与显示子系统主要用于指挥员指挥及乘员操作与控制车内各主要设备，观察和显示车内外战术、技术状况。

M1A2 坦克车长综合显示器由车长独立热像仪显示器、战术信息显示器和面板/键盘三部分组成。车长独立热像仪显示器用于观察并向炮长传递目标信息，战术信息显示器通过电

台接口装置可以收发、编制、存储数字报告,接收并处理炮长和车长通过激光测距仪输入的数据,提供准确的目标位置数据。

显示器根据定位导航系统提供的数据在地图上显示出本车位置及行驶方向,并能绘制、显示行军路线。这些信息可显示在本车驾驶员显示器上,也可发送给友邻车辆。显示器上还可显示日期、时间、车辆呼号、本车方位和以6位数字表示的车辆坐标位置、友邻车辆的位置及后勤状况等状态信息。

显示器下方设有功能键,车长可用触摸感应屏或控制手柄上的拇指控制器操纵光标来选择所需菜单。

法国勒克莱尔主战坦克的指挥控制与显示子系统分为车长、炮长和驾驶员的控制显示系统三部分。车长控制与显示系统主要由三块控制面板、一台监视器、一个键盘、信号处理装置、操纵台和电台等组成(图15-0-7)。

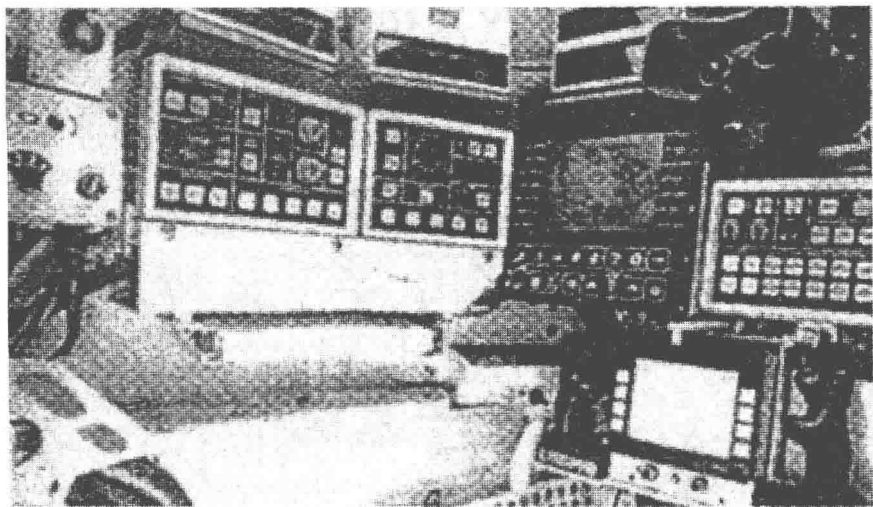


图 15-0-7 “勒克莱尔”车长控制与显示系统

三块面板中的第一块面板用于总线控制和监控装置,面板上装有控制炮塔、火控系统、瞄准镜、热像仪和自动装弹机的总开关;第二块面板用于控制数据传输系统,上面有电源控制开关;第三块面板上有辅助武器控制系统、传感器输入系统、综合防御系统的控制器、车长显示系统与总线接口等,为车长显示各种信息,并供车长检查故障、手工输入参数及传送信息之用。

炮长控制与显示系统主要包括两块控制面板、监视器、键盘、信号处理装置及操纵台等(图15-0-8)。

驾驶员控制与显示系统(图15-0-9)主要显示里程数、燃油量、发动机转速、蓄电池电压、工作挡位、工作状态,以及有关辅助系统、分配系统或发动机组可能出现的故障等。

(三) 定位导航子系统

定位导航系统通常采用位置导航技术,能实时地提供本车的坐标位置和行驶方向。定位导航系统可输入准确的地域边界数据,并划定安全区域。一旦车辆驶出安全区,定位导航系统自动发出警告信号,指示返回安全区域。

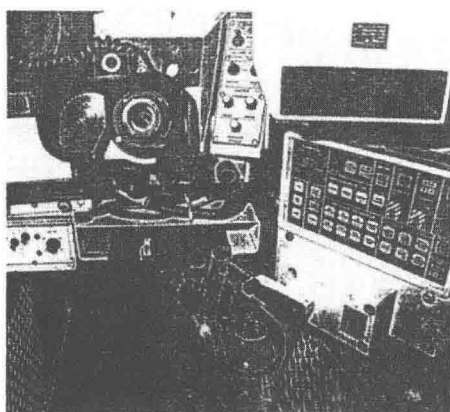


图 15-0-8 “勒克莱尔” 坦克炮长控制与显示系统

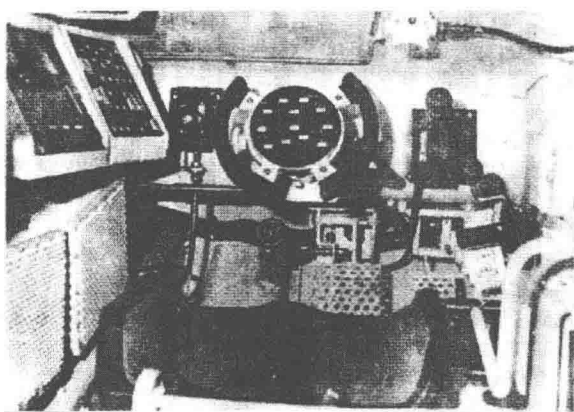


图 15-0-9 “勒克莱尔” 坦克驾驶员控制与显示系统

美国 M1A2 主战坦克采用的一种航空电子导航系统，车长通过显示器了解本车所处位置和行驶方向，驾驶员综合显示器能显示全部导航资料及车长下达的导航命令。该系统可根据不同的行驶速度有效控制燃油消耗，并与内部自检系统沟通，有效预防故障。在美军试验中，定位导航系统达到了预期的使用效果：定位导航精度达到行进路线的 2%，油耗比规定指标降低了 12%，公路行军时间缩短了 42%，34% 的行军路线避开了核、生、化沾染区。

英国“挑战者 2”型主战坦克装有英国 GEC 费伦蒂公司生产的 FIN1155 型惯性定位导航系统。该定位导航系统由惯性测量装置（IMU）、里程计传感器、内部电缆装置组成。惯性测量装置（IMU）主要包括惯性平台、电子装置、电源组件和车辆接口板（VIP）等；里程计传感器主要用于向系统提供速度信息；内部电缆装置既可与乘员控制的显示系统连接，也可与火控计算机等其他系统连接，数据通过串联数据链传输。FIN1155 系统有两种工作形式，即定位和导航，可连续输出与导航和定位有关的位置、方向及姿态等信息。

此外，在测距仪的配合下，导航定位系统还能炮火支援指示目标。

目前常用的定位系统主要有卫星、惯导、磁通、电子罗盘等手段。导航系统主要有美国的 GPS、战罗斯的“格罗那兹”、欧盟的“伽利略”和我国的“北斗”定位导航系统。

（四）火控子系统

在综合电子系统中，火控系统是一个相对独立的并具有举足轻重作用的功能电子系统。在新一代坦克装甲车辆中，火控系统已与多路传输数据总线紧密结合在一起。火控计算机同时也是多路传输数据总线系统中的主计算机，负责总线中信息的调度，火控系统内各部件也通过数据总线相连。现代火控系统中最具代表性的是勒克莱尔主战坦克火控系统。

勒克莱尔坦克数字式综合型火控系统的车长瞄准镜、炮长瞄准镜、火控计算机、CCD 摄像机、激光测距仪、热像仪、陀螺稳定器、动态炮口基准系统、车/炮长视频监视器、操纵台、操作键盘及各种传感器等通过数据总线连接在一起，可以实现数据共享。火控计算机用于该坦克综合电子系统管理和为火控系统提供必要的计算能力。

（五）综合防御子系统

综合防御子系统是利用现代传感器技术构成一个对各种威胁敏感的传感器子系统。近年来，激光、红外、雷达等光电对抗装备的发展，使得综合防御子系统能迅速探测威胁源的存在。

在，并指出它的方位和选择最佳对抗措施（图 15-0-10）。

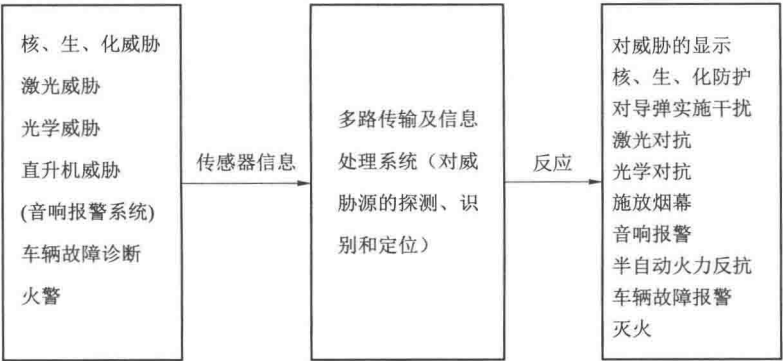


图 15-0-10 综合防御子系统示意图

M1A1 主战坦克综合防御子系统采用计算机数据处理技术，接收来自多个威胁探测器的信息，能对威胁进行分析，向乘员报警并选择实施最佳对抗措施。该系统具有人工智能，能使车辆防御子系统自行工作。对抗措施主要包括发射抛射式烟幕弹、施放干扰金属箔条或采取规避动作。

以色列“梅卡瓦”MK3 型主战坦克采用激光自动探测报警系统和“动力驱动多弹种发射系统”，构成坦克的综合防御系统。激光报警系统由 3 个光辐射传感器、1 个数据处理系统和 1 个指挥与控制显示系统组成，用于探测雷达、红外探照灯、激光测距仪和激光指示器等。激光报警系统与“动力驱动多弹种发射系统”相连，后者根据激光报警系统探测到的威胁，自动发射对抗弹药，增强坦克对制导武器和其他反坦克武器的防护能力。

（六）电源分配和管理子系统

为了更有效地发挥综合电子系统的效能，一些先进的现代坦克综合电子系统中设计有电源分配和管理子系统，负责分配电能给车辆上所有的分系统，并监视和控制各功能装置的电源消耗、低功耗操作等。该子系统可自动检测系统内部故障、隔离故障部分并自动重新组配电网，以保证最基本的功能。

在 M1A2 坦克中，除采用 MIL-STD-1553B 数据总线外，还有一条专门的电源分配和管理总线。在勒克莱尔坦克中，则加装了一个“电气网络管理电子箱”。

（七）车辆动力传动电控子系统

发动机电控子系统由各种传感器、控制单元和执行机构组成，能对燃油喷射时机、喷油量、点火时间和怠速进行控制调节，以提高发动机的性能和降低油耗。

变速器电控子系统对变速器进行自动控制，可根据车辆行驶速度和油门开度选择最佳排档，同时可进行功能和故障检测，并通过总线向驾驶员提供有关信息。

“挑战者 2”主战坦克的动力系统采用数字式自动控制系统，可根据车辆的负载情况自动调整发动机的动力输出，发挥发动机功率的最佳使用效能。此外，该系统还具有自动诊断能力。

（八）自动装弹子系统

新型坦克自动装弹机有机电式和机器人式等多种类型。各种新坦克自动装弹机均可用计

算机进行管理,并通过坦克装甲车辆综合电子系统对弹种选择、自动装弹及弹药消耗等进行自动管理。

例如,勒克莱尔坦克自动装弹机是一种机器人装置,由 M68000 系列微机与火控计算机相连,自动装弹机上还装有两个条形码阅读器,用于鉴别和管理弹药。自动装弹子系统计算机直接与多路传输数据总线相连。

(九) 通信子系统

通信子系统一般包括电台及电台数字化接口装置,可构成无线分组数据网,可传输语言、数据、文电和静态图像,它与总线系统相连构成完整的车内-车际信息系统,实现车内乘员与乘员之间、各系统与乘员之间,以及与邻车之间的信息交换与共享。

例如,勒克莱尔坦克上装置的 PVIG 电台为甚高频数字式跳频电台,可随时将数据信息发往邻车、分队指挥车和上级机关,达到信息共享、同步交换的目的。

美国 M1A2 式主战坦克的通信子系统由单信道地面和机载电台系统 (SINCGARS)、电台接口装置 (RIU) 和数字通信装置 (DCS) 三部分组成。单信道地面和机载电台系统 (SINCGARS) 是一种用于指挥与控制的网络式电台,具备数传功能;电台接口装置用于发送大容量数字式信息和音频信号;数字通信装置用于将话音转换成数字信号发出,接收后再将其还原成话音。

(十) 自动诊断子系统

基于多路传输技术的故障检测和诊断系统由先进的微处理机、传感器、报警显示装置构成,具有故障感知、逻辑判断等人工智能,可以随时检测各电子系统和主要部件的功能及故障情况,并将检测和诊断的结果及时显示给乘员,供其采取相应的对策和措施。同时,还可将故障信息发送给后勤维修部门,以加快野战维修速度,提高装备的战时可用性。

M1A2 主战坦克的故障检测/诊断系统能对车长热像仪和车体/炮塔电子设备等进行系统故障诊断。诊断系统不间断地进行自测,并向乘员显示异常情况和故障。系统软件还具有使硬件自动重组的能力,在出现故障时能为装甲车辆乘员提供最佳的重组功能,增强了装甲车辆的生存力和杀伤力。

参考文献

- [1] 宋小庆. 军用车辆综合电子系统总线网络 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [2] 张洪图, 姜正根, 赵家象. 坦克构造学 [M]. 北京: 北京工业学院出版社, 1986.
- [3] 闫清东, 张连第, 赵毓芹, 等. 坦克构造与设计 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [4] [英] 罗杰·福特. 坦克 [M]. 俞建梁, 徐春, 译. 北京: 国际文化出版公司, 2003.
- [5] 冯益柏. 坦克装甲车辆设计——总体设计卷 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [6] 杨作成. 今日陆战之王 [M]. 北京: 解放军出版社, 2006.
- [7] 刘维平, 孙伟. 坦克装甲车辆构造学 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001.
- [8] [英] 克里斯托弗·F·福斯. 坦克与装甲战车 [M]. 吴娜, 译. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2007.
- [9] 中国人民解放军总参谋部装甲兵部. ZTZ88 式坦克构造与使用 [M]. 北京: 解放军出版社, 1990.
- [10] 郑慕侨, 冯崇植, 蓝祖佑, 坦克装甲车辆 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2003.
- [11] 谈乐斌, 张相炎, 管红根, 等. 火炮概论 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2003.
- [12] 张相炎. 火炮概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [13] 尹建平, 王志军. 弹药学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2012.
- [14] 中国人民解放军总参谋部兵种部. ZTZ96 式坦克构造与使用 (下) [M]. 北京: 解放军出版社, 1998.
- [15] 李德胜. 自动装弹系统的运动实现与传动性能研究 [D]. 天津理工大学, 2009.
- [16] 王威, 王国辉. 装甲车辆自动装弹机的现状及未来 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2002, 16 (2): 64-68.
- [17] 王国辉, 焦庆龙, 赵波. 自动装弹机控制系统改造研究与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 3998-4000.
- [18] 王钦钊, 谷晓伟, 李小龙, 王春忠. 基于高机动条件下的坦克火控系统 [J]. 兵工自动化, 2012, 31 (3): 19-21.
- [19] 邹雷. 坦克火控系统发展概述 [J]. 国外坦克, 2014 (5): 15-18.
- [20] 张日飞, 吴勇. 四连杆机构在坦克火控系统中的应用 [J]. 火力与指挥控制, 2008, 33 (3): 115-116.
- [21] 周启煌, 刘春彦, 葛银茂. 现代坦克火控系统体系结构发展的轨迹 [J]. 火力与指挥控制, 2006, 31 (10): 4-7.
- [22] 常天庆, 陈军伟, 张波, 陈东. 一种新型坦克火控系统建模方法 [J]. 火力与指挥控

- 制, 2014, 39 (1): 98-102.
- [23] 沙明杰. 坦克火控系统的昨天、今天和明天 [J]. 现代军事, 2001, 1: 35-37.
- [24] 朱竟夫, 赵碧君, 王钦钊. 现代坦克火控系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [25] 于同. 坦克技术概论 [M]. 北京: 科学技术出版社, 2003.
- [26] 张守荣. 双视场焦平面热像仪精确定位研究 [D]. 山东大学, 2006.
- [27] 麦绿波. 焦平面热像仪的发展与应用综述 [J]. 红外技术, 2006, 28 (9): 497-501.
- [28] 陆真. 凝视型热像仪读出驱动和预处理功能模块研究 [D]. 南京理工大学硕士学位论文, 2005.
- [29] 臧克茂, 马晓军, 李长兵. 现代坦克炮控系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [30] 马晓军, 袁东, 臧克茂, 李长兵, 闫之峰. 数字全电式坦克炮控系统研究现状与发展 [J]. 兵工学报, 2012, 33 (1): 69-75.
- [31] 王占清, 付迎春. 坦克发动机发展“三部曲” [J]. 中国民兵, 2006. 8: 60-61.
- [32] 肖顺旺, 张兵志, 张均享. 坦克装甲车辆动力五十年 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [33] 冯益柏. 坦克装甲车辆设计——动力系统卷 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [34] 张均享. 高机动性运载车辆动力系统 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.
- [35] 中国人民解放军总参谋部兵种部. ZTZ96 式坦克构造与使用 (上) [M]. 北京: 解放军出版社, 1998.
- [36] 任自中. 国外大功率柴油机喷油电控系统的新进展 [J]. 柴油机, 2008, 30 (5): 7-12.
- [37] 郭锐, 赵静一. 重型运输车柴油发动机电控系统研究与展望 [J]. 流体传动与控制, 2010, 41 (4): 1-4.
- [38] 张培, 何忠波, 白鸿柏. 自行火炮推进系统 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2012.
- [39] 中国人民解放军总参谋部兵种部. ZSL92 式轮式装甲车构造与使用 [M]. 北京: 解放军出版社, 1997.
- [40] 刘修骥. 车辆传动系统分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [41] 安东诺夫, 等. 军用履带车辆传动装置 [M]. 王红岩, 芮强, 高连华, 沙雪峰, 译. 北京: 国防工业出版社, 2014.
- [42] 杨贵华. 液力传动节能装置——液力偶合器、液黏调速离合器 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [43] 朱径昌. 液力传动 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
- [44] 项昌乐, 荆崇波, 刘辉. 液压与液力传动 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [45] 中国人民解放军总装备部通用装备保障部. 89 式装甲输送车构造与修理 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000.
- [46] 王娟. 数字化自适应换挡控制策略的研究 [D]. 北京理工大学, 2008.
- [47] 张涛. 基于电液比例阀的大功率 AT 换挡品质控制 [D]. 北京理工大学, 2012.
- [48] 潘玉田, 郭保全. 轮式自行火炮总体技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
- [49] 张智智, 刘春玉. 反坦克导弹与装甲主动防护系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.

- [50] 房凌晖, 郑翔玉, 马丽, 汪伦根. 坦克装甲车辆装甲防护发展研究 [J]. 四川兵工学报, 2014, 35 (2): 23-25.
- [51] 王岐磊. 坦克装甲车辆防护材料的研究现状及发展趋势 [J]. 机械管理开发, 2012, 129 (5): 17-19.
- [52] 刘薇, 杨军. 装甲防护材料的研究现状及发展趋势 [J]. 材料热处理技, 2011. 1: 108-111.
- [53] 邵磊, 余新泉, 于良, 防弹纤维复合材料在装甲防护上的应用 [J]. 高科技纤维与应用, 2007, 32 (2): 31-34, 45.
- [54] 段建军, 杨珍菊, 张世杰, 等. 纤维复合材料在装甲防护上的应用 [J]. 纤维复合材料, 2012, 12 (3): 12-16.
- [55] 李向荣, 赵海龙. 装甲战车防护技术研究 [J]. 四川兵工学报, 2013, 34 (5): 1-4.
- [56] 王凤英. 装甲防护技术的发展 [J]. 测试技术学报, 2002, 16 (2): 144-147.
- [57] 经福谦, 陈俊祥, 华欣生. 揭开核武器神秘面纱 [M]. 北京: 清华大学出版社、暨南大学出版社, 2002.
- [58] 田忠舜. 坦克综合电子系统的发展动态和建议 [J]. 兵工学报, 坦克装甲车与发动机分册, 1999, 75 (3): 57-61.